

Treball de Fi de Grau

**Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials**

# **DISSENY D'UN SISTEMA DE GESTIÓ DE CÀRREGA PER A VEHICLES ELÈCTRICS**

## **MEMÒRIA**

**Autor:** Guillem Ayats Torras  
**Director:** Oriol Gomis Bellmunt  
**Convocatòria:** Gener 2018



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Aquest treball de fi de grau pretén oferir una visió amplia sobre la infraestructura de recàrrega de vehicles elèctrics, entenent l'enfoc actual i plantejant alternatives per superar les problemàtiques que pot generar l'augment exponencial de vehicles elèctrics en un àmbit urbà.

El primer pas és entendre el funcionament, la tecnologia involucrada, l'estratègia que es segueix a l'hora d'instal·lar un punt de recàrrega domèstic actualment i els problemes a nivell d'infraestructura elèctrica que això suposa. A partir d'aquesta informació s'han plantejat diferents estacions de recàrrega alternatives per reduir aquest impacte i aconseguir una implantació més sostenible.

Per últim s'ha dissenyat un model d'aquestes alternatives per tal de simular-ne el funcionament i s'han comparat els resultats amb les estacions utilitzades actualment en l'àmbit domèstic per extreure conclusions respecte a la viabilitat i la practicitat de les alternatives

# Sumari

<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>7</b>
1.1. Objectius del projecte	8
<b>2. ESTAT DE L'ART</b>	<b>9</b>
2.1. Vehicle elèctric	9
2.2. Bateria	10
2.3. Tecnologia de càrrega	13
2.3.1. Modes de càrrega	13
2.3.2. Connectors	14
2.3.3. Esquemes d'instal·lació	15
2.3.4. Comunicacions	16
2.4. Estacions de càrrega	18
2.4.1. Estacions de càrrega en altern	18
2.4.2. Estacions de càrrega en continu	19
2.5. Mobilitat urbana	20
<b>3. ALTERNATIVES</b>	<b>24</b>
3.1. Estació de càrrega múltiple amb balanceig	25
3.2. Estació de càrrega múltiple sense balanceig	28
<b>4. SIMULACIÓ</b>	<b>31</b>
4.1. Perfils d'usuaris	32
4.2. Model vehicle	32
4.3. Model estació de càrrega en altern convencional	33
4.4. Model estació de càrrega múltiple amb balanceig	34
4.5. Model estació de càrrega múltiple sense balanceig	36
4.6. Resultats	37
4.6.1. Estació en altern convencional	38
4.6.2. Estació múltiple amb balanceig	41
4.6.3. Estació múltiple sense balanceig	45
<b>5. IMPACTE MEDIAMBIENTAL</b>	<b>49</b>
<b>6. PRESSUPOST</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>52</b>
Bibliografia complementària	53





# 1. Introducció

La transició cap a una mobilitat sostenible ja és una realitat. La data de caducitat dels combustibles fòssils està accelerant cada vegada més el desenvolupament de tecnologies respectuoses amb el medi ambient. És el cas de l'automoció, que ha viscut un increment del 79.89% en la venda de vehicles híbrids endollables i del 55,19% en la venda de vehicles elèctrics respecte l'any passat segons fonts del AEDIVE [2].

Tot i aquest augment de l'interès per la mobilitat sostenible encara hi ha certs factors que frenen aquest desenvolupament. Un d'ells és el preu d'aquests vehicles que és força superior als vehicles convencionals degut bàsicament al preu de les bateries. L'altre factor és la denominada *range anxiety* o ansietat respecte a l'autonomia. La sensació que no pots realitzar desplaçaments llargs o que en qualsevol moment pots quedar-te sense bateria són els arguments més utilitzats pels detractors dels VEs. La solució a aquest problema passa per fabricar bateries amb una capacitat més elevada i alhora millorar la xarxa de càrrega arreu del territori, clarament insuficient actualment.

Ambdues solucions suposen un repte majúscul. El desenvolupament de bateries més eficients, econòmiques i lleugeres és clau per al sector de l'automòbil com també ho és la possibilitat de fabricar-les en massa. Per aquest motiu la majoria d'empreses del sector està invertint en centres especialitzats per poder abastar tota la demanda de bateries per a les versions elèctriques dels seus vehicles.

La creació d'una infraestructura prou àmplia és l'altre repte que cal afrontar per tal de facilitar la transició a la mobilitat elèctrica. Per tal d'enfocar bé l'estratègia s'han d'entendre les dinàmiques de recàrrega, les quals són diferents a la manera actual d'omplir el dipòsit en els vehicles de combustió. L'alta densitat energètica dels combustibles fòssils facilita molt el procés en els vehicles convencionals, però en el cas dels VEs tenen una complexitat afegida degut als temps de càrrega. Per aquest motiu s'ha d'adaptar la infraestructura de recàrrega a l'ús dels vehicles i aprofitar al màxim els moments en que està estacionat per a carregar les bateries.

Segons un estudi, a l'estat espanyol un vehicle passa de mitjana un 97% de la seva vida estacionat [1]. Per aquest motiu la decisió més òbvia és tindre un punt de recàrrega en el lloc on el vehicle passa més temps estacionat (càrrega vinculada), que acostuma a ser la plaça de pàrquing del domicili i al mateix temps potenciar una infraestructura de recàrrega pública, si és possible de càrrega ràpida, com a suport per a usos puntuals (càrrega d'oportunitat). I no només s'ha d'augmentar la infraestructura sinó que és important gestionar-la correctament ja que un vehicle elèctric passa de mitjana un 68% del endollat però només un 6% carregant segons dades el EV Project. Per tant és important realitzar una gestió correcta dels punts de

càrrega per augmentar-ne l'eficiència

És per aquest motiu que aquest treball es proposa estudiar i plantejar alternatives a la càrrega particular, especialment en pàrquings comunitaris en una zona urbana on la complexitat augmenta degut al gran volum de vehicles.

## 1.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest treball és estudiar possibles alternatives al model actual de càrrega domèstica en una àrea metropolitana per tal d'aprofitar millor l'energia que arriba als pàrquings, intentant minimitzar l'energia necessària i ajustant-la el màxim possible a la demanda. I alhora intentar augmentar la potència disponible per a tindre la capacitat de fer càrregues ràpides o semi ràpides per a casos puntuals on sigui necessari un pic de potència superior.

Per dur a terme aquesta tasca primer s'han d'entendre els patrons de mobilitat urbana. La freqüència, duració i distància amb la qual s'utilitzen els vehicles privats en una ciutat com Barcelona és clau per determinar la demanda energètica que pot tindre un parc mòbil completament elèctric.

És també molt important entendre la tecnologia involucrada en el procés de càrrega d'una bateria. Com per exemple el funcionament dels carregadors, les diferents modalitats d'aquests, els connectors, potències i esquemes elèctrics que segueixen les instal·lacions. Un cop plantejades totes les alternatives possibles cal estudiar quina és la més adequada per poder proporcionar l'energia necessària i alhora estudiar la viabilitat econòmica de cada una d'aquestes alternatives.

Finalment es proposarà un sistema de gestió de la càrrega per assegurar un aprofitament màxim de la potència disponible. El repartiment d'energia entre els diferents vehicles d'una flota que carreguen des del mateix subministrament s'ha de fer de tal manera que suposi una millora respecte a un punt de càrrega individual per a cada vehicle. Principalment l'objectiu és donar l'energia suficient per a carregar tots els vehicles de la flota, reduint la potència total contractada i amb una certa flexibilitat per a poder fer càrregues ràpides si és possible.



## 2. Estat de l'art

### 2.1. Vehicle elèctric

De forma general, un vehicle elèctric és un mitjà de transport propulsat per motors elèctrics. Aquest treball es centra bàsicament en el cotxe elèctric per ser el majoritari en una ciutat, però moltes de les reflexions són vàlides també per a altres vehicles com podrien ser motocicletes o autobusos.

En la figura 2.1 es poden veure esquemàticament els diferents sistemes de tracció, des de vehicle de combustió fins a elèctric pur passant per les diferents modalitats de híbrids.

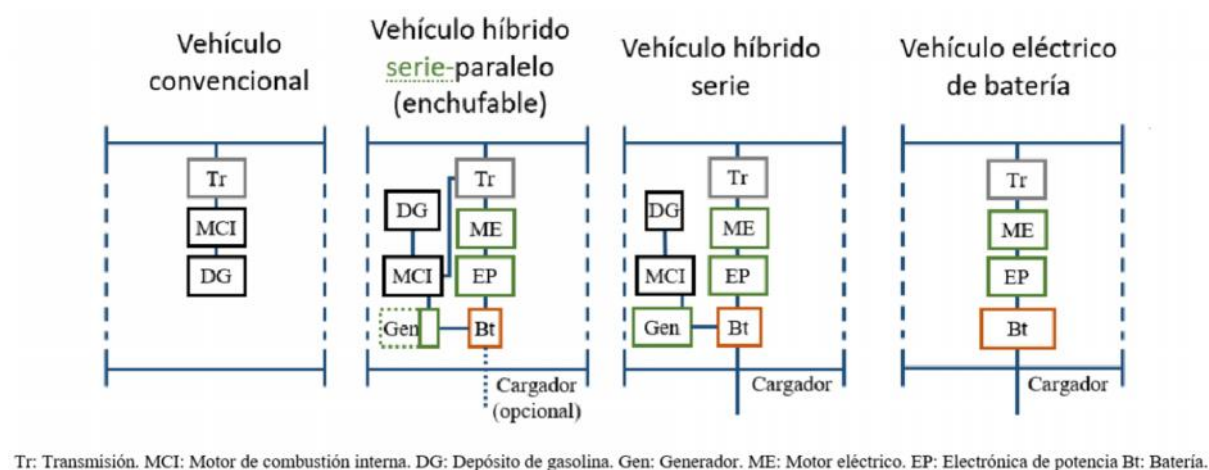


Figura 2. 1. Esquema dels sistemes de tracció de vehicles, de menys a més electrificat.

El vehicle convencional utilitza únicament un motor de combustió interna per a desplaçar-se. Els vehicles híbrids mantenen aquest motor de combustió però afegeixen un motor elèctric i una bateria per millorar-ne les prestacions. En alguns casos es poden connectar a la xarxa per carregar la bateria, és el que es coneix com a híbrid endollable. Hi ha diverses maneres d'híbridar un vehicle:

- **Vehicle híbrid en paral·lel.** El motor elèctric s'utilitza per augmentar el parell del motor de combustió o per realitzar conduccions completament elèctriques de poca distància. La bateria acostuma a ser petita i existeix la possibilitat tant de carregar la bateria directament des del motor de combustió, mitjançant la frenada regenerativa o en

alguns casos connectant un carregador. És una tracció més propera a la convencional que a la elèctrica.

- **Vehicle híbrid en sèrie.** En aquest cas és el motor elèctric el que proporciona la tracció i el motor de combustió s'utilitza per a carregar la bateria en el cas que sigui necessari. Acostuma a tindre una bateria més gran que l'híbrid en paral·lel i a ser endollable. És una tracció més propera al vehicle elèctric pur, on el motor de combustió està dedicat a ampliar l'autonomia del vehicle.
- **Vehicle híbrid sèrie-paral·lel.** Combina característiques dels dos esquemes anteriors. Però el seu elevat cos i complexitat fa que sigui el menys habitual dels tres.

El vehicle elèctric utilitza únicament un motor elèctric en la seva tracció i extreu l'energia elèctrica de les bateries. Per aquest motiu les bateries han de ser més grans per a permetre una autonomia suficient. Aquest estudi se centrarà en abastir aquest tipus de vehicles ja que són els que tenen una necessitat d'energia major.

## 2.2. Bateria

El component més important del vehicle elèctric és la bateria. Té una influència directa en l'autonomia, la potència, el cost i el pes del vehicle i per tant és la clau per aconseguir les mateixes prestacions que els vehicles de combustió actuals.

Una bateria elèctrica és una cel·la electroquímica encarregada d'emmagatzemar energia química i transformar-la en energia elèctrica per propulsar el vehicle. Cada cel·la està formada de dos materials: un amb facilitat de cedir electrons (reductor) i un amb facilitat per captar electrons (oxidant). Aquesta reacció s'anomena oxidació-reducció i les propietats de la bateria varien en funció dels materials utilitzats. Per aquest motiu existeixen infinitat de bateries possibles, tantes com combinacions de materials oxidants i reductors.

Les propietats més importants d'una bateria són: potència, energia i vida útil. I l'elecció de components ha de respondre a les necessitats de la bateria ja que no existeix una bateria perfecta que optimitzi les tres característiques. Per tant la solució sempre està en un punt entremig. Tenint en compte també el cost, pes, volum, seguretat, etc.

Entre les opcions més habituals hi ha les bateries de plom-àcid (PbA), les de níquel i hidrur metàl·lic (NiMH) i les d'ió liti (Li-ion) sent les últimes les més utilitzades en vehicles elèctrics. Les bateries de liti estan formades per una solució de sals de liti en un medi orgànic, un càtode

de carboni i un ànode format per un òxid metàl·lic. En funció de l'òxid utilitzat les característiques de la bateria són diferents.

Alguns exemples de bateries de liti són: les de níquel-cobalt-alumini (NCA) utilitzades per Tesla en els seus vehicles, les de ferrofosfat (LFP) amb una densitat energètica menor però més seguretat i vida útil, les de manganès (LMO) amb una estructura molt estable però una densitat energètica relativament baixa o les de níquel-manganès-cobalt (NMC) amb una alta densitat energètica però poc estables [6]. Precisament per no comprometre cap característica la solució passa per combinar diferents materials.

En un mercat amb una varietat tant gran, per tal de definir unes prestacions, en aquest treball s'ha escollit la bateria del Nissan Leaf del 2011 degut a que és la més estudiada a nivell acadèmic i es disposen de moltes dades recopilades pel *EV Project*, un estudi realitzat pel Departament d'Energia del Govern dels Estats Units.

A continuació es pot veure una taula amb les especificacions d'una cel·la i un gràfic amb els perfils de descàrrega per a diferents intensitats proporcionat pel fabricant.

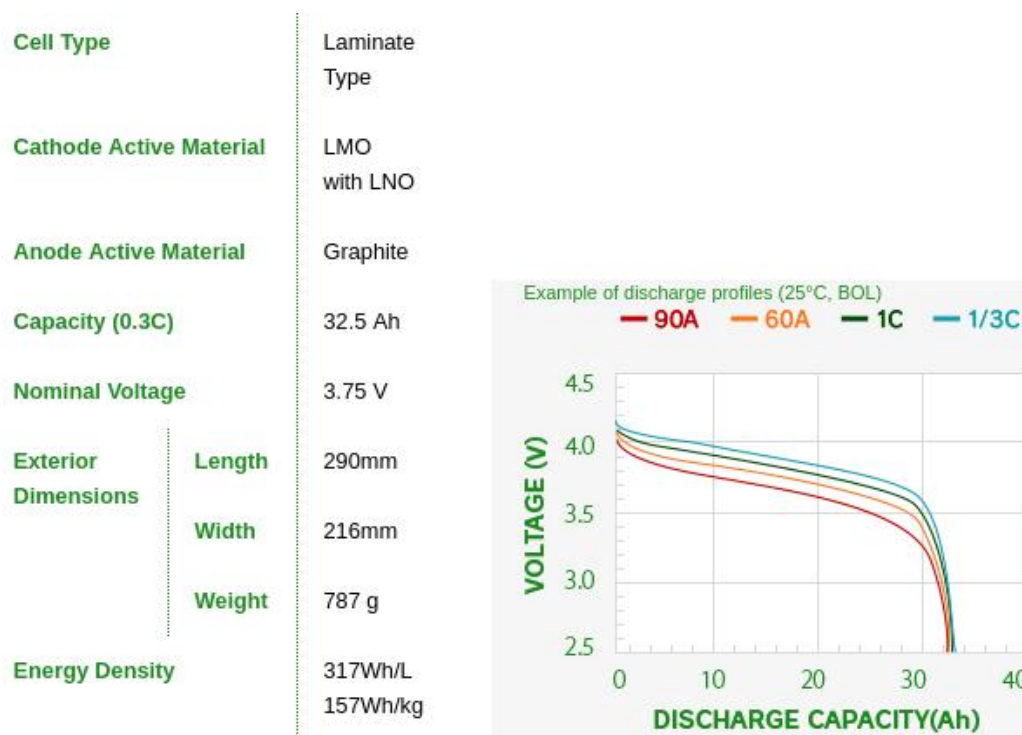


Figura 2. 2. Especificacions de la bateria del Nissan Leaf 2011 [3].

La bateria del Nissan Leaf té una configuració 96s2p [9], això significa 2 mòduls de 96 cel·les en sèrie connectats en paral·lel. Per tant el voltatge nominal de la bateria és de 360 V i la capacitat total és de 23,4 kWh.

Finalment, és importat conèixer el mètode de càrrega que segueix la bateria per tal d'evitar sobrecàrregues i allargar la vida útil. En el cas de les bateries de liti el protocol Corrent Constant-Voltatge Constant (CC-CV) es considera l'estàndard degut a la seva simplicitat i la fàcil implementació. Es basa en dos fases, la primera on la bateria es carrega a corrent constant (la màxima possible) fins que arriba a un voltatge concret (menor al màxim permisible) i la segona on la diferència de potencial fixa resulta en una disminució de la intensitat a mesura que la bateria arriba a la seva màxima capacitat i la intensitat s'apropa a zero [5] [6].

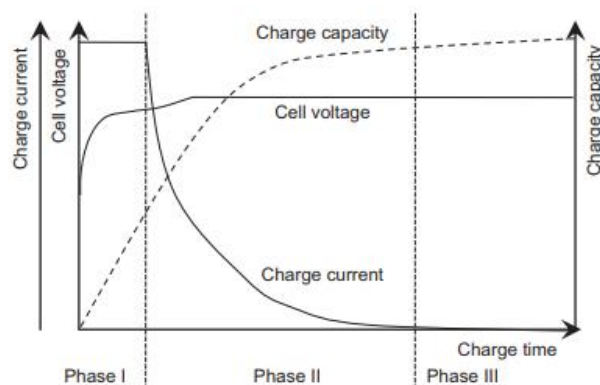


Figura 2. 3. Voltatge, corrent i capacitat de la bateria en les diferents fases del protocol CC-CV.

Aquest procediment es tradueix en augment lineal del SOC durant la fase de corrent constant i una reducció de la velocitat de càrrega en la fase de voltatge constant. Aquest fet es veu més accentuat en el cas de la càrrega ràpida, on la fase de voltatge constant és més llarga comparat amb la càrrega lenta com es pot veure en la figura 2.3. A l'esquerra es representa el voltatge i la corrent de la bateria dels Nissan Leaf carregant amb un carregador de càrrega ràpida a 50 kW i a la dreta amb el carregador incorporat al vehicle a 3,3 kW [12].

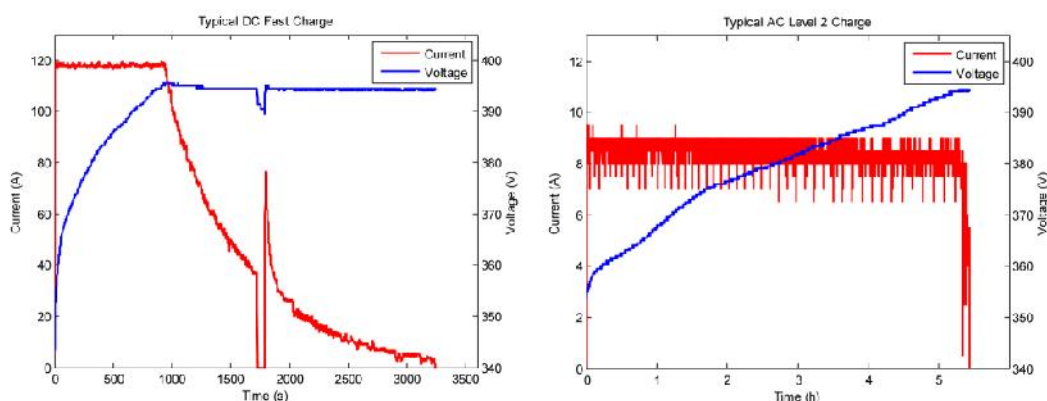


Figura 2. 4. Càrrega ràpida en continu (esquerra) i càrrega lenta en altern (dreta) [12].

## 2.3. Tecnologia de càrrega

El carregador funciona com a principal nexa d'unió entre el vehicle i la xarxa de distribució elèctrica. El carregador és l'encarregat de transformar la corrent alterna que arriba per la xarxa en corrent continu compatible amb la bateria. Aquesta tasca es pot realitzar de diferents maneres, o bé integrada en el carregador que porta el vehicle o de forma externa.

### 2.3.1. Modes de càrrega

Existeixen diferents maneres de connectar-se a la xarxa, les quals estan classificades en modes, descrits i tipificats segons la normativa del IEC (*International Electrotechnical Commission*) que marca un estàndard internacional.

- **Mode 1:** Connexió del vehicle elèctric a la xarxa d'alimentació alterna mitjançant preses de corrent normalitzades, amb una intensitat no superior als 16 A y una tensió assignada al costat de l'alimentació no superior a 250 V de corrent altern en monofàsic o 480 V de corrent altern en trifàsic i utilitzant els conductors actius i de protecció.
- **Mode 2:** Connexió del vehicle elèctric a la xarxa d'alimentació alterna sense excedir els 32 A i 250 V de corrent altern en monofàsic o 480 V de corrent altern en trifàsic, utilitzant preses de corrent normalitzades monofàsiques o trifàsiques i utilitzant els conductors actius i de protecció juntament amb una funció de control pilot i un sistema de protecció per a les persones, contra el xoc elèctric (dispositiu de corrent diferencial), entre el vehicle elèctric i la clavilla o com a part de la capsa de control situada en el cable.
- **Mode 3:** Connexió directa del vehicle a la xarxa d'alimentació de corrent altern utilitzant un SAVE (Sistema d'Alimentació de Vehicle Elèctric), on la funció de control s'amplia al sistema de control del SAVE, estan aquest connectat permanentment a la instal·lació d'alimentació fixa.
- **Mode 4:** Connexió indirecta del vehicle elèctric a la xarxa d'alimentació de corrent altern utilitzant un SAVE que incorpora un carregador extern en que la funció de control pilot s'estén al equip connectat permanentment a la instal·lació d'alimentació fixa.

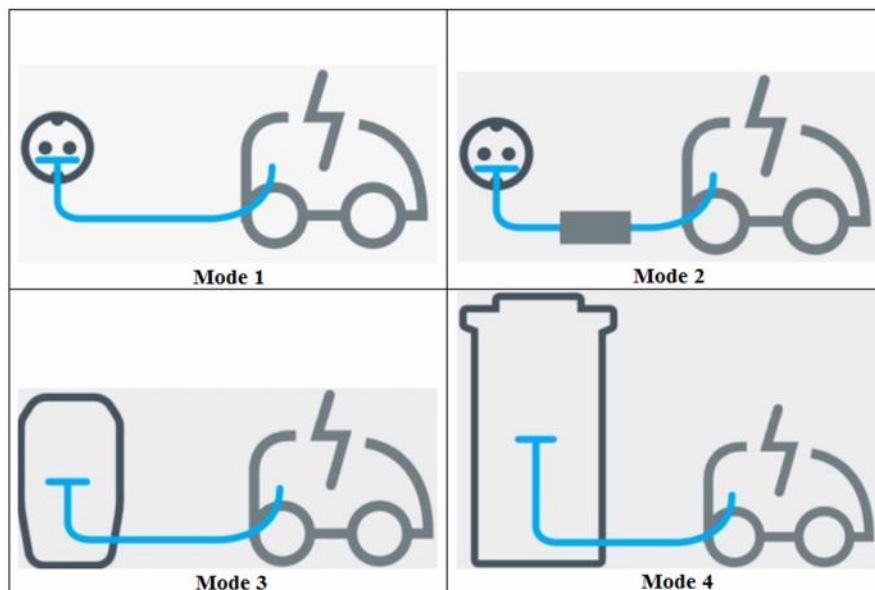


Figura 2. 5. Esquema dels diferents modes de càrrega.

A la pràctica, el mode 1 i 2 corresponen a utilitzar el carregador portàtil inclòs amb el cotxe, el mode 3 correspon a carregar mitjançant una capsa de càrrega de corrent altern i el mode 4 a carregar amb continua, per tant utilitzant un rectificador de corrent altern a continu extern. L'únic que no utilitza el carregador integrat en el vehicle és el mode 4. Els altres tres utilitzen el carregador intern, però amb diferents nivells de protecció, potència i comunicacions.

### 2.3.2. Connectors

Per a intensitats fins als 16A les preses convencionals o Schuko comuns en habitatges són suficients, per tant per al Mode 1 i 2 s'utilitza una presa Schuko. Però per a intensitats majors són necessaris connectors específics per a suportar les potències. Actualment aquests són els més habituals, tot i que s'intenta tendir a una unificació:

- **Tipus 1 – Yazaki (SAE J1772).** Per a tensions monofàsiques entre 120 i 240 V. La potència màxima és de 16,7 kW tot i que compta amb una versió capaç de carregar a 80 A. És el connector estàndard a Japó i EEUU.
- **Tipus 2 – Mennekes (ICE 62196).** Per a tensions monofàsiques i trifàsiques entre 100 i 500 V. La potència màxima en trifàsic és de 43,5 kW. El més estès a Europa. Tesla l'ha modificat per a permetre càrrega ràpida en continua.
- **Tipus 3 – Scame.** Per a tensions monofàsiques i trifàsiques entre 100 i 500 V, permet una potència màxima de 22 kW. És el menys habitual i està en desús.





Figura 2. 6. Connectors en altern. Tipus1 (dreta), Tipus 2 o Mennekes (centre) i connector Tesla (esquerra). [10]

En la directiva 2014/94/UE del Parlament Europeu, la Unió Europea va determinar que el Tipus 2 seria l'estàndard europeu per a la recàrrega de corrent altern.

Per a càrrega en continu existeixen dos connectors:

- **Connector únic combinat (CCS Combo).** Compatible amb el connectors de Tipus 1 i 2 però amb capacitat de carregar amb continua. El componen cinc borns: dos per la corrent, dos per comunicacions i una presa de terra. Permet tant la càrrega lenta com la ràpida. És el connector estàndard a Espanya.
- **CHAdEMO.** És el que utilitzen la majoria de fabricants japonesos. Pot proporcionar fins a 62,5 kW en continua. Consta de borns, presa de terra i comunicacions.



Figura 2. 7. Connectors en continu. CCS Combo Tipus 1 (dreta), CCS Combo Tipus 2 (centre) i CHAdEMO (esquerra).

### 2.3.3. Esquemes d'instal·lació

Finalment, l'esquema elèctric per la connexió d'aquests carregadors a la xarxa de distribució ve definit en la llei ITC BT-52 [7] aprovada el novembre de 2017 on es descriuen les diferents casuístiques i les instal·lacions necessàries en cada cas. Els possibles esquemes són els següents:

- **Esquema 1.** Esquema col·lectiu o troncal amb un comptador principal en l'origen de la instal·lació.
- **Esquema 2.** Esquema individual amb un comptador comú entre el domicili i la estació

de recàrrega.

- **Esquema 3.** Esquema individual amb un comptador per a cada estació de recàrrega.
- **Esquema 4.** Esquema amb circuit o circuits addicionals per a la recàrrega.

El més utilitzat en instal·lacions particulars si es possible és l'esquema 2. Aprofitant la instal·lació elèctrica existent es fa una derivació del propi comptador fins al punt de càrrega. Aquesta instal·lació només comporta un augment en el consum d'energia i/o de la potència contractada del habitatge però no necessita un subministrament dedicat al punt de càrrega. Sempre que físicament sigui possible aquesta és la instal·lació més recomanada.

En el cas de pàrquings comunitaris, i especialment a Barcelona, es dona el cas que la plaça de pàrquing està en una finca diferent a la residència del propietari del pàrquing. Això impossibilita la utilització del esquema 2 i obliga a utilitzar habitualment o bé l'esquema 3 o el 4.

L'esquema 3 seria el corresponent a donar d'alta un comptador on el titular és el propietari del vehicle. A part del alt cost econòmic que suposa, es pot arribar al punt en que no hi hagi espai físic suficient per a donar d'alta un comptador per a cada vehicle.

L'esquema 4 correspondria en afegir circuits addicionals al comptador de serveis generals del pàrquing. És una alternativa que no necessita alta de comptador, només ampliar la potència si es necessari i requereix també un sistema per gestionar i monitoritzar l'energia que consumeix cada vehicle.

#### **2.3.4. Comunicacions**

El nivell de comunicació entre el vehicle i l'estació de càrrega és clau per entendre el procés de càrrega i les possibilitats que ofereix. Per aquest motiu cal diferenciar dos nivells de comunicacions: alt i baix nivell de comunicacions. El primer és el propi dels carregadors en corrent continu i el segon de carregadors en altern.

Els carregadors en altern, independentment del connector que utilitzen tenen dos pins dedicats a comunicacions. Aquests són el pilot de proximitat (PP) i el pilot de control (CP). El primer té la funció d'informar de la connexió física entre el vehicle i l'estació de càrrega i el segon s'encarrega d'informar al vehicle de la intensitat màxima que pot proporcionar el punt de càrrega en tot moment, utilitzant una senyal modulada per ample de pols (PWM). Cal entendre que la relació entre el vehicle i el punt de càrrega és de amo/esclau. És el vehicle,



més concretament el *Battery Management System* (BMS), el que decideix la intensitat a la que vol carregar la bateria i el carregador es limita a informar de la intensitat màxima que te disponible mitjançant el pilot de control (CP).

El fet que el punt de càrrega sigui l'esclau no implica que no es pugui controlar la potència de càrrega de forma externa al vehicle. Es pot implementar una càrrega dinàmica modificant la intensitat màxima disponible a través del CP, però amb la limitació que només es controla la potència màxima disponible i no la potència real de càrrega. És el vehicle el que decideix finalment la intensitat que entra a la bateria. Bàsicament la comunicació de baix nivell s'utilitza per incrementar la seguretat dels carregadors, assegurant que en el cas de desconexió o error es talli la corrent de forma immediata i no es superi la potència màxima.

En els carregadors en continua, ambdós tenen en comú els pins de potència DC+ i DC- per on es transfereix l'energia però difereixen en la manera en com s'estableix la connexió d'alt nivell.

En el cas de CCS/Combo comparteix els pins de CP i PP amb els connectors en altern i estableix la connexió d'alt nivell a través de *Power Line Communications* (PLC) mitjançant el pilot de control (CP). La comunicació PLC es basa en l'ús de xarxes elèctriques per transmetre informació mitjançant la impressió d'un senyal modulad en el cablejat.



Figura 2. 8. Pins de connexió CHAdeMO (dreta) i CCS2 (esquerra).

El connector CHAdeMO està format per els pins DC+ i DC- i set pins addicionals, dels quals un és la presa de terra, un té la funció de permetre o inhabilitar la càrrega, un comprova l'estat de la connexió, dos tenen la funció de començar i finalitzar la càrrega i els dos últims s'utilitzen per transmetre informació mitjançant un bus CAN. El bus CAN (*Controller Area Network*) és un bus estàndard dissenyat per vehicles per comunicar microcontroladors i dispositius per comunicar-se amb altres aplicacions sense un ordinador [8].

En definitiva, els dos connectors de càrrega ràpida en continua, utilitzant tecnologies diferents, estan preparats per a transmetre informació entre el vehicle i el carregador com pot ser l'estat de càrrega (SOC), temperatura de la bateria, capacitat de la bateria, etc.

Per aquest motiu la càrrega en continu presenta un avantatge respecte a l'altern, amb la possibilitat de tindre més dades a temps reals del vehicle i podent adequar la càrrega utilitzant aquestes dades. Tanmateix facilita la implementació de fonts renovables d'energia, sistemes *vehicle-to-grid* (V2G), que pretenen utilitzar les bateries dels vehicles com una font d'energia quan estan connectades a la xarxa i *smart grids* en general.

## 2.4. Estacions de càrrega

L'estació de càrrega, carregador o punt de càrrega és un dispositiu dedicat a proporcionar energia al vehicle. Degut a que les tomes de corrent no dedicades a la càrrega de vehicle elèctric poden suportar 12 A com a màxim és necessari dotar d'una infraestructura que permeti potències superiors i garanteixi la seguretat del procés de càrrega. Per aquest motiu cal realitzar una instal·lació independent, amb les proteccions que determina la legislació vigent (ITC BT-52), cablejat dimensionat per suportar la intensitat màxima i una estació de càrrega per tal de realitzar la connexió amb el vehicle tal com defineixen els estàndards SAE J1772/ICE 62196.

### 2.4.1. Estacions de càrrega en altern

Les estacions de càrrega en altern són les més simples ja que la funció que tenen és garantir la seguretat del procés de càrrega utilitzant un contactor i una placa electrònica que es comunica amb el vehicle a través del pilot de proximitat i el de control i garanteix que es compleixin els protocols. De tal manera que només proporciona energia en situació de seguretat, complint totes les premisses, sense superar la intensitat màxima i bloquejant els connectors durant la càrrega. També disposa d'un mecanisme de detecció d'errors tant del vehicle com del subministrament per tallar la corrent en situacions que posin en perill la bateria com curtcircuits, errors en la connexió o temperatures molt elevades.

Aquestes característiques són les que totes les estacions de corrent altern incorporen, però addicionalment poden tindre altres components o funcionalitats com per exemple: mesurador d'energia per controlar el consum, potenciòmetre per ajustar la potència de càrrega, connexió Bluetooth o WIFI per controlar l'estació a distància, identificador RFID per activar l'estació i possible incorporació de plataformes de gestió utilitzant el protocol OCPP (*Open Charge Point Protocol*).



Figura 2. 9. Diferents estacions de recarrega en altern (esquerra) i continu (dreta).

### 2.4.2. Estacions de càrrega en continu

Quan la transformació de corrent altern a continu es realitza de forma externa al vehicle estem parlant d'un punt de càrrega en continu (Mode 4). En aquest cas, a part de les funcions esmentades en l'apartat anterior, el punt de càrrega té la funció de rectificar el corrent d'entrada per subministrar-la al vehicle en corrent continu. Aquest fet te l'avantatge de saltar-se el rectificador o carregador intern que acostuma a ser de potències baixes i per tant limita en molts casos la potència màxima de càrrega en altern. A més, el rectificador intern, al estar dissenyat com un component del vehicle té unes dimensions reduïdes i una ventilació poc adequada. Per tant el fet de tindre un rectificador dedicat i extern al vehicle suposa una millora de l'eficiència en el rectificat del corrent.

Un altra diferència esmentada anteriorment és el nivell de comunicació. Les estacions en continu utilitzen connectors CCS o CHAdeMO, ambdós amb un nivell alt de comunicacions. Les dades transferides utilitzant aquest nivell de comunicacions són utilitzades per l'estació de càrrega, que a través de la unitat de control de càrrega les utilitza per monitoritzar i gestionar la càrrega amb més precisió. Tal i com es pot veure a la figura 2.10 hi ha cinc ports físics: els dos de potència, el CP, PP i la prea de terra. La comunicació d'alt nivell es realitza amb PLC utilitzant els ports de CP i PP.

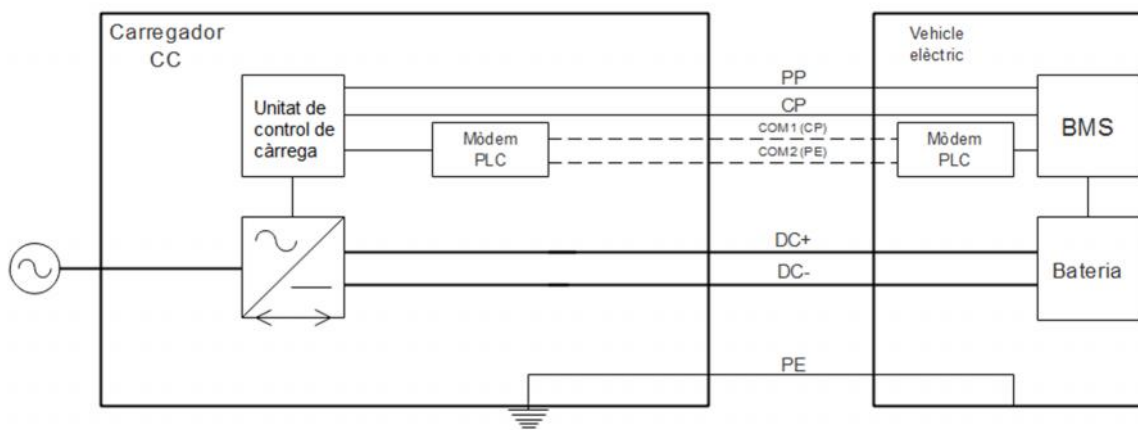


Figura 2. 10. Esquema dels components i connexions d'una estació de càrrega en continu amb connexió CCS. [8]

## 2.5. Mobilitat urbana

Per últim, es important entendre els patrons de mobilitat dels potencials usuaris de vehicles elèctrics per tal d'ajustar al màxim la demanda energètica en una zona urbana com Barcelona. Les dades de mobilitat s'han extret de l'enquesta de mobilitat en dia feiner de l'any 2017 (EMEF 2017), una estadística de periodicitat anual promoguda per l'Autoritat de Transports Metropolitans amb l'objectiu de conèixer les característiques bàsiques de la mobilitat en dia feiner de la població resident a l'àmbit territorial del sistema tarifari integrat i més concretament Barcelona. La mostra està formada per 10.100 individus amb una confiança del 95,5% i sota el supòsit de mostreig aleatori simple.

L'estudi constata que es fan de mitjana 3,2 desplaçaments al dia per habitant en dia feiner, dels quals el 38,9% es fan mitjançant un vehicle privat que és el cas que estem estudiant. També es constata que el 89% dels desplaçaments dels residents són unimodals (només utilitzen un mitjà de transport), per tant se suposa que les persones que utilitzen vehicle privat realitzen els 3,2 desplaçaments al dia amb el vehicle. Això comprèn tant els desplaçaments per motius ocupacionals com personals i és per aquest motiu que és una bona base per fer una estimació del consum que pot tenir un vehicle privat.

La durada dels desplaçaments és clau per determinar-ne les necessitats energètiques i en el cas de l'àrea metropolitana tenen una duració mitjana declarada de 23,4 minuts. Com es pot comprovar en la figura 2.11, el 44,8% dels desplaçaments realitzats tenen una duració menor de 15 minuts i només 19,4 % dels desplaçaments supera els 30 minuts, amb una duració

mitjana en aquest tram de 55,1 minuts.

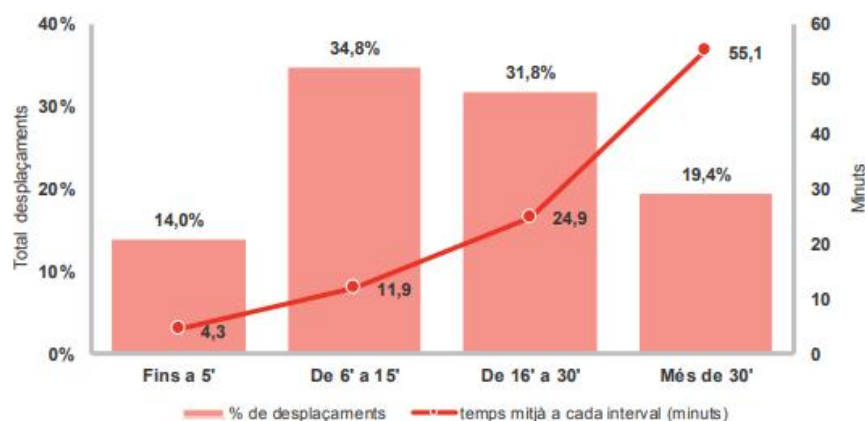


Figura 2. 11. Repartiment dels desplaçaments en funció de la duració.

A partir de la duració mitjana dels desplaçaments i una velocitat de circulació mitjana en la ciutat de Barcelona es pot calcular la distància mitjana per desplaçament. A continuació es presenten les dades de la velocitat mitjana i el trànsit en vehicles per kilòmetre de Barcelona en les diferents vies de la ciutat [13]. Multiplicant la velocitat pel trànsit que assumeix en tant per u es troba una velocitat mitjana a la ciutat de 27,69 km/h.

Tipus de via	Velocitat mitjana (km/h)	Absorció del trànsit (%)
Rondes	54,70	20,03
Vies d'accés	24,00	21,08
Xarxa local	19,83	58,89
<b>TOTAL</b>	<b>27,69</b>	<b>100</b>

Taula 2. 1. Velocitat mitjana i trànsit en funció del tipus de via.

Per tant, amb una velocitat mitjana de 27,69 km/h, una duració de 23,4 minuts/desplaçament i una mitjana de 3,2 desplaçaments al dia; la distància mitjana recorreguda per un vehicle en un dia a l'àrea metropolitana de Barcelona és de 34,58 km.

Aquest valor és similar a la distància mitjana recorreguda pels vehicle del EV Project, que és

de 41,95 km al dia. L'EV Project, mencionat anteriorment, és un estudi del Departament d'Energia dels Estats Units que pretén estudiar l'ús de la infraestructura de recàrrega de 18 ciutats arreu del país i que recopila dades de 8.650 vehicles endollables, dels quals 3.499 són el Nissan Leaf de 2011 amb 24 kWh de bateria que s'estudia en aquest treball. Una de les dades més interessants que recopila l'EV Project és l'estat de càrrega (SOC en %) en el moment que s'endolla el vehicle (figura 2.12).

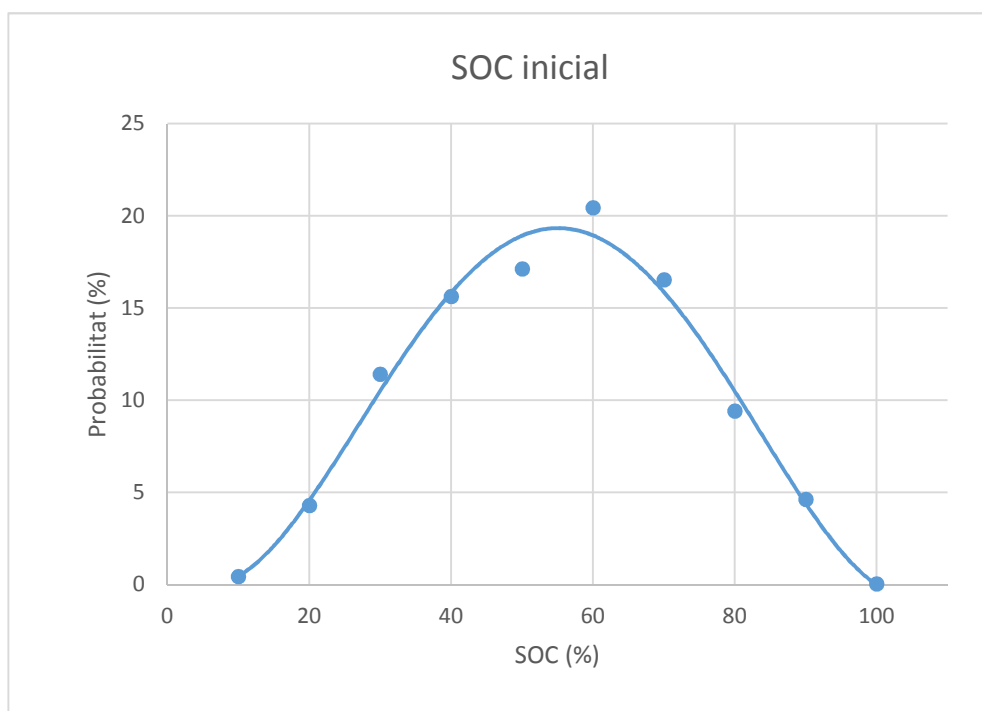


Figura 2. 12. Estat de càrrega en el moment d'endollar el vehicle.

Tal i com es pot comprovar interpolant, les probabilitats segueixen una distribució normal amb la mitjana al 56% de SOC i una desviació estàndard del 20%. Aquest gràfic, tot i ser d'una àrea metropolitana diferent a la de Barcelona, serveix per entendre la distribució del consum energètic d'un vehicle elèctric i es pot extrapolar a l'àrea metropolitana de Barcelona. Si amb les dades extretes del EV Project la mitjana del SOC està al 56% recurrent 41,95 km/dia, significa que el consum del Nissan Leaf és de 10,5 kWh diaris de mitjana. O el que és el mateix 0,25 kWh/km. Per tant, en el cas de Barcelona, amb una distància mitjana de 34,58 km, els percentatges de SOC seguiran una distribució normal centrada en el 63,73 % de SOC en l'inici de la càrrega.

Finalment, és important conèixer el moment en que es realitzen els desplaçaments per a poder plantejar una estratègia de càrrega adequada. L'estona que està el vehicle estacionat

en l'estació de càrrega determina l'energia que se li pot transferir, el moment en que es fa i a quina potència. En la figura 2.13 es pot veure com es distribueixen els desplaçaments durant les 24 hores del dia a la ciutat de Barcelona. Es pot comprovar que el 90% dels desplaçaments en dies feiners es fan entre les set del matí i les nou del vespre, això comporta que aproximadament un vehicle està aparcad en el domicili unes 10 hores. Aquest temps carregant a 3,7 kW, potència habitual en punts de càrrega particulars, suposa 37 kWh diaris. Per tant de mitjana l'energia que té disponible un vehicle és pràcticament quatre vegades la que necessita. Això és un indicador clar de que la infraestructura està sobredimensionada per donar tranquil·litat a l'usuari mitjà i s'està desaprofitant bona part de la potència disponible.

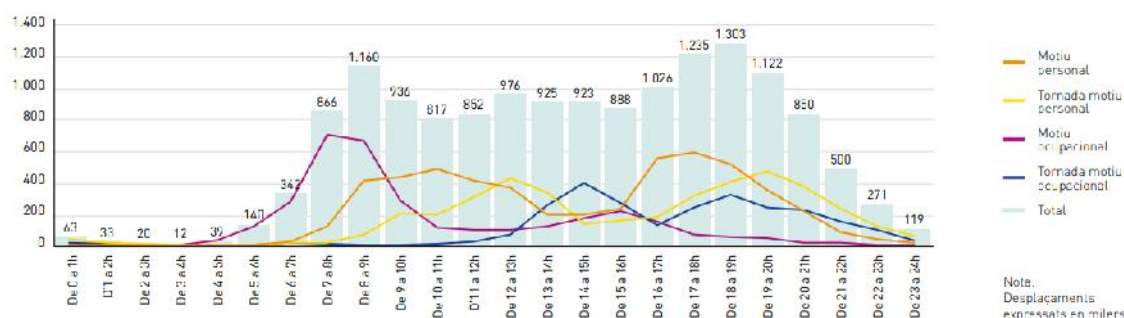


Figura 2. 13. Desplaçaments en funció de la franja horària en l'àrea metropolitana de Barcelona [4].

Com es pot observar en la figura 2.13, hi ha dues franges horàries puntes durant els dies feiners; una pel matí de set a deu que equival al 19,2% dels desplaçaments i una altra per la tarda de cinc a vuit amb el 23,7% dels desplaçaments.

Per tal de dur a terme les simulacions, es definiran tres perfils d'usuaris de vehicle elèctric a la ciutat de Barcelona a partir de les dades recopilades anteriorment. Aquests seran: un usuari mitjà, un que realitzi un ús més intensiu i un amb un consum més reduït. La intenció és comprovar com afecta cada alternativa en l'aprofitament de l'energia per als diferents perfils i si té alguna afectació en l'usuari pel que fa al SOC en el moment en que es necessita el vehicle.

### 3. Alternatives

Per tal de plantejar alternatives al model actual d'implementació de la infraestructura de càrrega domèstica cal saber quin és i entendre quines avantatges i desavantatges té.

Actualment l'estratègia que se segueix alhora d'instal·lar una estació de càrrega particular passa per fer una derivació del comptador del domicili (esquema 2) sempre que és possible i instal·lar un punt de càrrega lenta en altern a 3,7 kW o a 7,4 kW. Aquest esquema és el més simple i és el que té un impacte menor en la xarxa de distribució. La utilització d'un subministrament existent implica que l'estació de càrrega és un circuit addicional i només repercuteix en el consum de l'habitatge. En funció del consum i la potència contractada en el comptador és possible que sigui necessària una ampliació de potència. En aquest cas sí que hi ha un cert impacte en la xarxa de distribució, però és mínim.

En els casos on aquesta solució no és possible, sempre que la plaça de pàrquing no està en la mateixa ubicació que l'habitatge del propietari, es busquen solucions en funció de la instal·lació existent. Si hi ha una centralització de comptadors en la mateixa finca, es planteja fer una alta de subministrament dedicada exclusivament a la recàrrega del vehicle elèctric. Si no és el cas, l'alternativa passa per utilitzar l'esquema 4, fent la instal·lació com un circuit addicional des del comptador general amb un possible mediador secundari per registrar l'energia consumida pel vehicle.

Totes aquestes opcions, excepte l'última utilitzant l'esquema 4, tenen l'avantatge de ser relativament econòmiques, senzilles i individuals. No requereix de consens per a ser realitzades i la llei vigent empara als propietaris de vehicles elèctrics per a que puguin tirar endavant les instal·lacions sense cap impediment per part de les comunitats de veïns.

Aquest fet simplifica la implementació del vehicle elèctric a curt termini però pot ser insostenible a llarg termini, sobretot en grans ciutats amb una densitat de població elevada on la xarxa de distribució no està preparada per assumir un augment tan elevat de la demanda.

El desavantatge més gran que suposa aquest model és la rigidesa que implica que cada vehicle tingui un circuit dedicat exclusiu amb un coeficient de simultaneïtat 1. Això suposa un dimensionament de la xarxa de distribució molt superior al que realment és necessari en termes de consum i l'aparició de pics de potència, sobretot en zones urbanes.

En aquest sentit cal plantejar alternatives que d'una forma més dinàmica i flexible donin resposta a la demanda d'energia necessària per la mobilitat urbana sense sobredimensionar



una xarxa de distribució que es pot veure saturada per la transició a la mobilitat elèctrica. I alhora tenir la possibilitat de controlar i gestionar la càrrega de forma intel·ligent per tal d'adaptar-la de la millor manera possible a les necessitats.

Algunes de les característiques que han de tenir les estacions de càrrega per tal d'assolir una millora en flexibilitat i control són les següents:

- **Multiplicitat.** Carregar més d'un vehicle des de la mateixa estació permet repartir millor l'energia i reduir els pics de potència si es fa de forma adequada.
- **Alt nivell de comunicació.** Per tal de gestionar de la millor manera l'estratègia de càrrega es necessària la màxima comunicació possible entre el vehicle i l'estació de càrrega i utilitzar els paràmetres de la bateria per a prendre decisions.
- **Balanceig de potència.** La capacitat de repartir la potència de forma dinàmica entre diferents vehicles permet gestionar la demanda en funció de les necessitats de cada vehicle.
- **Conversió i conducció d'energia eficient.** Reduir les pèrdues en les etapes entre la xarxa de distribució i la bateria és una manera d'evitar malbaratar energia.
- **Programació o retard de càrrega.** La possibilitat de retardar la càrrega obre la possibilitat a plantejar estratègies de càrrega que tinguin en compte la discriminació horària. Moure càrregues al període vall pot suposar un estalvi econòmic per l'usuari i alleugera la demanda energètica durant el dia.
- **Fàcil implementació de V2G i energies renovables.** Una altra manera de reduir la demanda en la xarxa de distribució és tindre fonts d'energia alternatives i això s'aconsegueix facilitant la implementació de tecnologies com el V2G i les energies renovables permeten un intercanvi bidireccional d'energia entre la bateria del vehicle i la xarxa.

Atenent a algunes d'aquestes característiques a continuació es plantegen alternatives per donar resposta als problemes que planteja el model actual.

### 3.1. Estació de càrrega múltiple amb balanceig

La primera alternativa que es presenta correspon a una estació de càrrega múltiple amb corrent continu, el rectificador extern al vehicle i amb la possibilitat de balancejar la càrrega utilitzant convertidors CC/CC per a cada vehicle. Aquest tipus d'estació compleix totes les característiques esmentades anteriorment per tant suposa una millora substancial al model

actual.

Consisteix en adaptar una estació de càrrega en corrent continu per a poder connectar més d'un vehicle mitjançant la creació d'un bus de corrent continu i convertidors CC/CC per tal de poder controlar el voltatge i el corrent de càrrega en cada vehicle de forma independent, evitant d'aquesta manera connectar en paral·lel les bateries del vehicle.

Així mateix el fet que sigui en continu permet una connexió d'alt nivell que serà útil per tal de poder implementar una gestió de la càrrega intel·ligent i obria la porta a infinitat d'estratègies diferents tenint en compte la tarificació horària, tecnologies *vehicle-to-grid* i energies renovables.

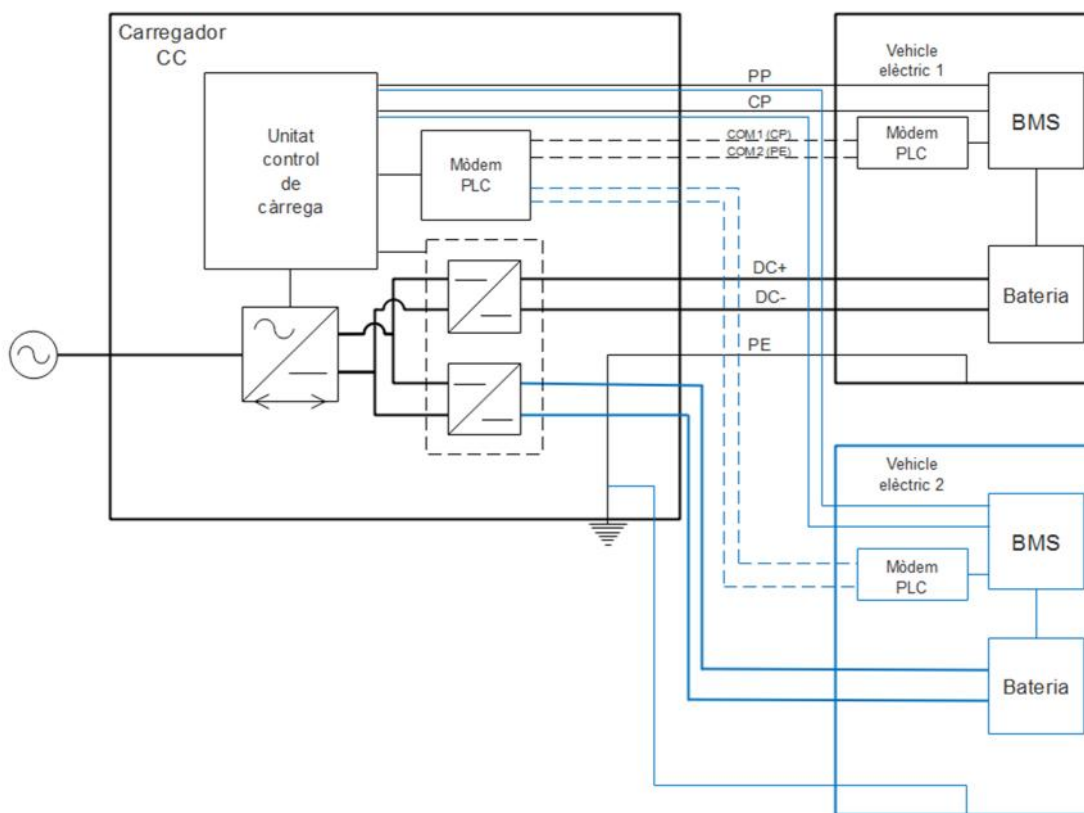


Figura 3. 1. Esquema 'una estació de càrrega múltiple balancejada amb multiplicitat 2.

Comparant l'esquema de la figura 3.1 amb el del carregador en continu convencional de la figura 3.1 es pot comprovar que les connexions que corresponen a comunicació són iguals, amb la diferència que degut a la multiplicitat n'hi ha tantes com vehicles connectats. Això permet que la unitat de càrrega rebi informació en tot moment dels vehicles que estan

connectats per tal d'utilitzar-la per a plantejar l'estratègia de càrrega. La mateixa unitat de control és la que s'encarrega de controlar tant el rectificador principal com els convertidors individuals per tal d'assolir un aprofitament màxim de l'energia. Per al vehicle l'experiència de càrrega és idèntica a la d'un carregador en CC convencional, ja que tant les connexions com el funcionament és exactament igual. Les diferències apareixen al costat de l'estació de càrrega.

Pel que fa a l'estratègia de càrrega de l'estació existeixen infinitat de solucions. La primera i més senzilla seria un balanceig pur entre vehicles, dividint la potència disponible entre els vehicles connectats. Aquesta estratègia no requereix de comunicacions d'alt nivell ja que únicament necessita saber el número de vehicles connectats mitjançant el PP.

Actualment hi ha estacions de càrrega amb aquesta funcionalitat al mercat. Són estacions, normalment per a espais públics, en altern i amb multiplicitat 2 que quan només hi ha un vehicle connectat li proporciona tota la potència i quan n'hi ha dos la reparteix entre els dos. En aquest sentit compleix el propòsit d'assolir un millor aprofitament de l'energia, però és una solució més aviat limitada i no difereix molt de tindre dos estacions independents. En qualsevol cas és un primer pas en la línia que es planteja i adaptar-lo a ús domèstic podria suposar una alternativa factible.

En aquest treball però, l'alternativa plantejada és en corrent continu per tal d'aprofitar al màxim la comunicació d'alt nivell i els convertidors individuals ja que d'aquesta manera amb la informació que arriba des de el vehicle es pot plantejar una estratègia més complexa. Així mateix, el fet que la conversió de altern a continu es faci sense utilitzar el rectificador intern del vehicle augmenta l'eficiència i evita la limitació de potència que tenen aquests rectificadors, habitualment de pocs kilowatts de potència.

Amb l'objectiu de estudiar la viabilitat i comparar els resultats es plantejarà una estratègia i es simularà en diferents escenaris el comportament de l'estació. La estratègia proposada estarà basada en un repartiment ponderat de la potència disponible en funció de l'estat de càrrega. La idea bàsica és proporcionar a cada vehicle una percentatge de potència inversament proporcional al estat de càrrega, o el que és el mateix en funció de la profunditat de descàrrega (*Depth of discharge*). El DOD és el complementari del SOC i indica el percentatge de la bateria que ha estat descarregat.

$$DOD_i = 100 - SOC_i \quad (3.1)$$

Es definirà la variable  $\alpha_i$  com el tant per u de la potència disponible que l'estació de càrrega destina al vehicle  $i$ . Aquest tant per u es calcularà com la fracció del DOD del vehicle  $i$  respecte al total dels DODs de tots els vehicles. Per tant la potència destinada al vehicle  $i$  serà el producte de  $\alpha_i$  per la potència total disponible.

$$\alpha_i = \frac{DOD_i}{\sum_{i=1}^N DOD_i} \quad (3.2)$$

D'aquesta manera es prioritza els vehicles amb un SOC menor ponderant en funció de les necessitats de la resta de vehicles. Per exemple, si hi ha tres vehicles amb un 80% de SOC i un amb un 20% els tres primers rebran un 14,28% de la potència i el quart un 57,14%. En canvi si tots quatre vehicle tenen el mateix estat de càrrega cadascun d'ells rep el 25% de la potència.

Aquesta és una estratègia que pretén prioritzar els vehicles amb necessitats energètiques més grans però sense deixar de banda els altres vehicles. El vehicle està carregant tota l'estona que està connectat a l'estació però el percentatge de potència es indirectament proporcional a l'estat de la bateria propi respecte a la resta.

De la mateixa manera que s'ha plantejat aquesta estratègia se'n poden plantejar infinitat de diferents i una estació d'aquest estil té una flexibilitat absoluta per permetre una gestió intel·ligent on es podria incorporar informació del temps que estarà estacionat el vehicle (definit per l'usuari), informació sobre la tarifació de l'electricitat o qualsevol paràmetre que pugui afectar als hàbits de càrrega dels usuaris. A més a més, l'ús d'intel·ligència artificial permetria millorar l'estratègia de forma autònoma recopilant informació dels patrons de càrrega de cada vehicle per tal d'optimitzar l'aprofitament de l'energia.

Malgrat que suposa una millora clara respecte a una estació domèstica en altern és obvi que l'augment de components repercuteix en el cost de la instal·lació. No només es necessari un rectificador extern al vehicle, com passa en els carregadors CC, sinó que a més cal un convertidor CC/CC individual per a cada vehicle i l'ideal seria que la potència nominal d'aquest fos la mateix que la del rectificador per tal de poder carregar a màxima potència quan només hi ha un vehicle connectat. És per aquest motiu que a continuació es planteja una alternativa menys ambiciosa a nivell tecnològic però que tanmateix suposa una millora.

### 3.2. Estació de càrrega múltiple sense balanceig

La segona alternativa que es presenta correspon a l'adaptació d'un carregador en corrent continu per tal de poder subministrar energia per més d'un connector, però no simultàniament. És un concepte molt similar a l'anterior amb la diferència que aquest no consta de convertidors CC/CC individuals sinó que són substituïts per contactors i per tant no permet carregar

diversos vehicles simultàniament. És una multiplicitat en el sentit que els vehicles estan connectats i transfereixen informació a la mateixa estació però només un rep la càrrega en cada moment. Tot i no tindre la flexibilitat de l'anterior, la capacitat de decidir quin vehicle carrega en cada moment a partir de la informació rebuda permet plantejar estratègies molt dinàmiques.

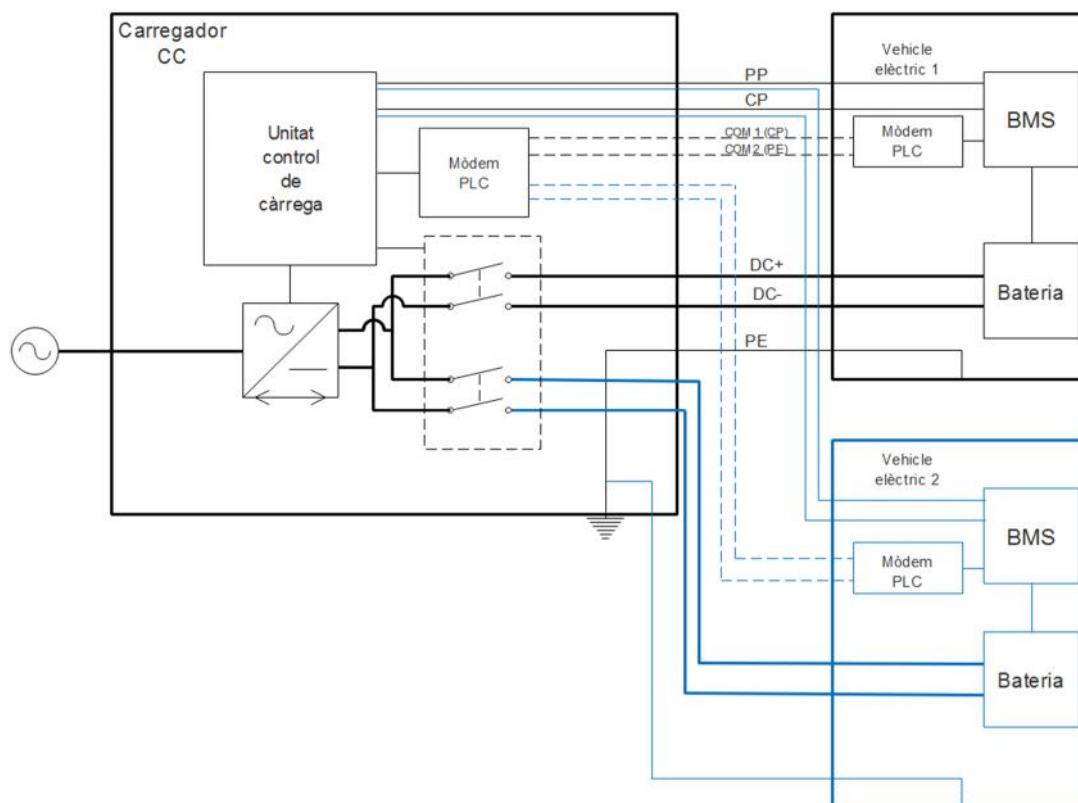


Figura 3. 2. Esquema d'una estació de càrrega múltiple sense balanceig amb multiplicitat 2.

A diferència de l'anterior, on es pot controlar la part de la potència disponible que es subministra al vehicle, en aquest cas el repartiment de la potència és binari: o tot o res. Per tant la gestió de la càrrega s'ha d'enfocar plantejant una estratègia per decidir quin vehicle carregar en cada moment.

En aquesta línia s'aprofita una de les característiques del protocol de càrrega de les bateries per a minimitzar els temps de càrrega. Tal com s'explica anteriorment el protocol CC-CV assoleix la potència de càrrega màxima en el tram de corrent constant i va reduint aquesta a mesura que en el tram de voltatge constant es va reduint la intensitat. La conseqüència d'això és un augment del SOC lineal fins aproximadament un 80% i una reducció de la velocitat de càrrega fins que la bateria està completament carregada.

Per tal d'aprofitar al màxim aquesta característica es planteja una estratègia separant la

càrrega en dos etapes, una primera per arribar al 80% i una segona per arribar al 100%. L'objectiu és realitzar l'etapa més ràpida en tots els vehicles abans de passar a la segona etapa més lenta que té una utilització menor de la potència. A l'hora de prioritzar i decidir quin és el primer vehicle en ser carregat es compararan els SOC's de tots els vehicles, és carregaran de menor a major SOC fins al 80% i quan hagin superat tots la primera etapa es procedirà a finalitzar la càrrega seguint el mateix ordre. D'aquesta manera s'aconsegueix tindre tots els vehicles amb un estat de càrrega òptim en un període curt de temps i l'aprofitament de la potència disponible és màxim.

Igualment que en l'alternativa anterior l'estratègia plantejada és interessant però no és la única possible i obra la porta a plantejar-ne de diferents per tal d'optimitzar el procés de càrrega tenint en compte tots els paràmetres disponibles i adaptant-la a cada cas concret.

## 4. Simulació

Amb l'objectiu d'estudiar la viabilitat de les alternatives platejades i estudiar si aquestes suposen una millora es dissenyaran models de cadascuna de les alternatives i es realitzaran simulacions en diferents escenaris per comprovar-ne el rendiment. No s'ha d'oblidar que l'objectiu principal d'aquest estudi es reduir la potencia nominal que tenen les estacions de càrrega sense que això afecti a l'usuari final augmentant l'aprofitament energètic. Per tant a l'hora de dissenyar el model s'ha de fer reduint la potència per vehicle de l'estació comparat amb una estació domèstica convencional de 3,7 kW.

Per a dur a terme la simulació es definiran 3 perfils d'usuaris a partir de les dades recopilades en l'apartat de mobilitat urbana per tal d'estudiar l'efecte que tindria la implementació d'aquestes estacions en l'àmbit de l'àrea metropolitana de Barcelona.

El *software* utilitzat la simulació és *Simulink*, un entorn de programació visual per modelar sistemes dinàmics a través de blocs que funciona per sobre de *Matlab*. Aquest entorn és àmpliament utilitzat en l'àmbit del control automàtic i el processament de senyals digitals. Per aquest motiu és l'idoni per a modelar el funcionament tant de les estacions de càrrega com els vehicles i poder extreure resultats tant gràfica com numèricament de forma senzilla.

## 4.1. Perfils d'usuaris

Per tal de dissenyar perfils d'usuaris que exemplifiquin els patrons d'ús dels habitants de l'àrea metropolitana s'han utilitzat les dades extretes en l'apartat de mobilitat urbana. L'objectiu de realitzar les simulacions no és extreure resultats estadístics sinó comprovar la viabilitat de les estacions i com afecta a uns hipotètics usuaris.

Amb la finalitat de representar diferents tipus d'usuaris s'han creat tres perfils: el primer segueix la distribució normal que resulta d'adaptar les dades del *EV Project* de SOC inicial a l'àrea metropolitana de Barcelona, el segon segueix la mateixa distribució però centrada en un 15% de SOC menor per simular un ús més intensiu i el tercer centrada un 15% del SOC per sobre de la mitja per simular un ús més relaxat del vehicle elèctric. D'aquí en endavant s'anomenaran aquest tres perfils com normal, intens i suau.

A partir de la distribució dels valors del SOC en el moment de connectar el vehicle s'han generat números pseudoaleatoris que representen els patrons d'ús d'un usuari al llarg d'una setmana. De cada distribució s'han generat tres perfils, un per a cada vehicle, per als models amb multiplicitat.

El moment de la connexió i desconexió del vehicle a l'estació també s'han generat a partir de les dades de mobilitat urbana. En el cas dels perfils normal i suau s'han generat números pseudoaleatoris en la forquilla de l'hora punta del matí, entre les 7 i les 10, i la tarda, entre les 17 i les 20, per tal de crear un perfil on es fa un desplaçament diari. En canvi en el cas del perfil intens s'ha creat suposant dos desplaçaments diaris, un al matí i l'altre a la tarda. La forquilla del matí és de sortida entre les 7 i les 8, arribada entre les 12 i la 13, desconexió altre cop entre les 15 i les 16 i tornada entre les 19 i les 20.

## 4.2. Model vehicle

El primer element que s'ha modelat és el vehicle, comú en tots els models. El component del vehicle que és rellevant en aquest estudi és la bateria i per tant s'ha creat un model que simula el comportament d'una bateria juntament amb el *Battery Management System* (BMS). Més concretament de la bateria del Nissan Leaf del 2011 amb una capacitat de 65 Ah i un voltatge nominal de 360 V o el que és el mateix 23400 Wh.



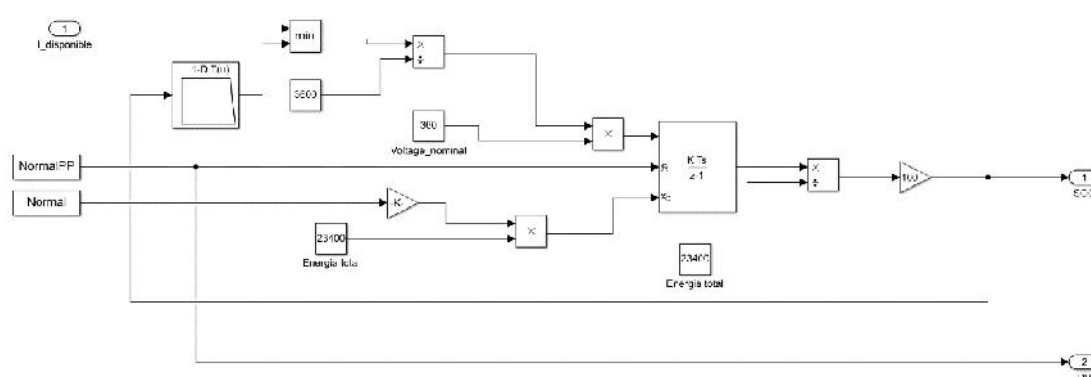


Figura 4. 1. Detall de l'interior del model del vehicle.

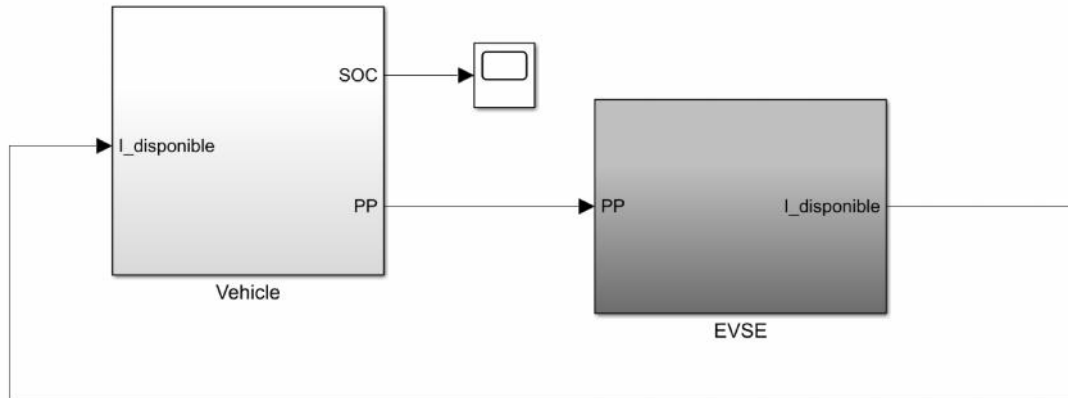
Tal com es pot veure en la figura 4.1 el model del vehicle consta d'una entrada, la intensitat disponible en l'estació, i dos sortides, el PP i el SOC. Dos d'aquestes formen part de les comunicacions de baix nivell: la intensitat disponible i el PP. La primera senyal és equivalent al *Control Pilot* que comunica mitjançant PWM la intensitat disponible al vehicle, d'aquí el nom utilitzat en aquest model. El segon, *Proximity Pilot* (PP), pren per valor 0 o 1 en funció de si el vehicle està connectat o no i ho comunica a l'estació. El valor del PP ve donat per el perfil d'usuari, per tant és un vector que s'introdueix des del *Workspace* de Matlab. De la mateixa manera s'introdueix el valor del SOC en el moment d'iniciar la càrrega definit per el perfil d'usuari.

Pel que fa al funcionament del model, es basa en calcular la potència que rep la bateria en cada moment i utilitzant un integrador acumular l'energia que es va emmagatzemant per a transformar-la en SOC percentual. La potència de càrrega és calcula fent el producte de la intensitat pel voltatge nominal, i la intensitat s'extreu d'una taula d'interpolació o *Lookup table* amb els valors del fabricant de intensitat en funció del SOC i els gràfics de Wishart (2015). Degut a que en l'etapa de voltatge constant la intensitat es va reduint s'ha afegit un bloc que agafa la intensitat mínima entre la disponible i la que marca la taula. El bloc de l'integrador en temps discret utilitza el valor de l'energia inicial de la bateria, a partir del SOC inicial, com a referència i acumula cada segon la potència que entra a la bateria. El valor de PP serveix per a reiniciar l'integrador cada vegada que es connecta i desconnecta el vehicle per tal de tractar cada sessió de càrrega de forma independent.

### 4.3. Model estació de càrrega en altern convencional

La primera estació modelada és la convencional en altern, que és la instal·lació domèstica més habitual. En aquest cas s'ha modelat un punt de càrrega lenta de 3,7 kW. Aquest tipus

d'estació està alimentada per una sola fase a 16 A i és l'estàndard pel que fa a instal·lacions tant en cases unifamiliars com pàrquings comunitaris.



*Figura 4. 2. Model de l'estació en altern connectat a un vehicle.*

És el model més simple ja que l'estació no té cap més funcionalitat que permetre la càrrega quan el vehicle està connectat, per tant el bloc de l'estació de càrrega multiplica el valor de PP per 16 A, que és la intensitat disponible si està carregant. Cal tindre en compte que la sortida del bloc són 16 A a 230 V, per tant s'ha de modificar el model del vehicle per que transformi els valors en altern a continu. Per tant la intensitat que arriba la bateria en aquest cas és 10,2 A al voltatge nominal de la bateria.

#### 4.4. Model estació de càrrega múltiple amb balanceig

La primera alternativa modelada és la del carregador múltiple amb balanceig. En aquest cas s'ha optat per una multiplicitat 3 per a simular el comportament de l'estació. L'objectiu principal de l'estudi és reduir la potència necessària per vehicle dedicada exclusivament a la recàrrega del vehicle elèctric, per tant s'ha dissenyat una estació de càrrega amb una potència de 6,9 kW. Aquesta potència no és arbitrària, està normalitzada i és la que correspon a contractar una alta de subministrament de 30A. Connectar tres vehicles a una estació de 6,9 kW significa que a cadascun dels vehicles li corresponen 2,3 kW. Això suposa una reducció en el dimensionament de l'estació d'un 37,5% respecte una estació en altern convencional i l'objectiu de les simulacions és comprovar quin efecte té aquest reducció en els patrons de càrrega.

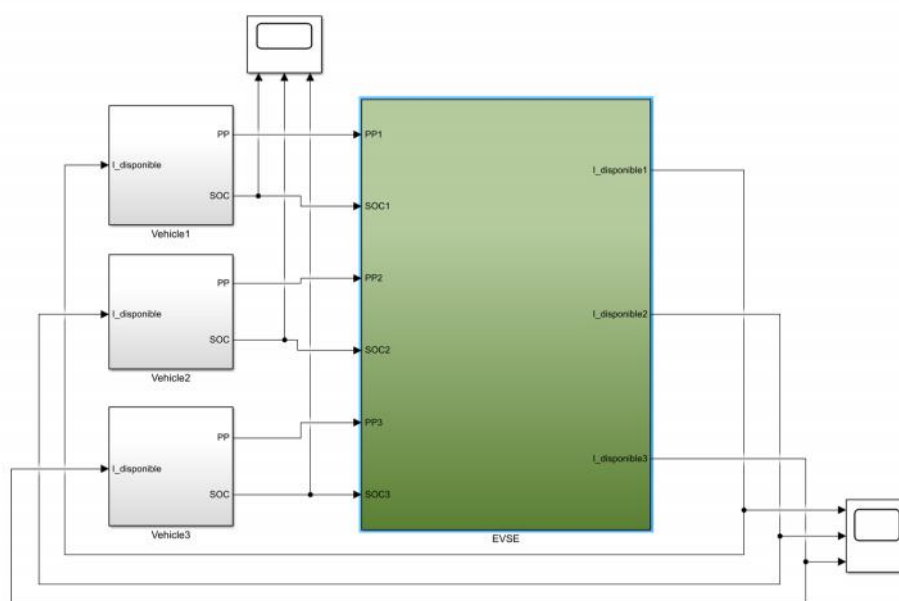


Figura 4. 3. Model de l'estació en continu balancejada amb multiplicitat 3.

A diferència de l'anterior, aquesta estació consta de comunicacions d'alt nivell i per tant a part de la intensitat disponible i el PP, el vehicle envia a l'estació el valor del SOC en cada moment que s'utilitza per definir el repartiment de potència.

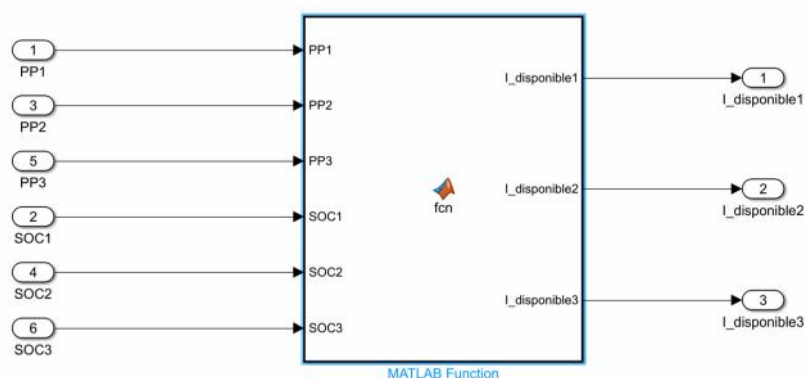


Figura 4. 4. Detall de l'interior del bloc de l'estació en continu balancejada.

Pel que fa al funcionament de l'estació està basat en una funció de Matlab que implementa l'algorisme explicat anteriorment. En cada instant realitza el càlcul de  $\alpha_i$  aplicant l'equació (3.2) i multiplica aquest valor per la intensitat total disponible de l'estació de tal manera que la suma de  $\alpha$  és sempre igual a 1 excepte quan no hi ha cap vehicle connectat que és 0. Per tal de

d'evitar errors i indeterminacions en el càlcul d'  $\alpha$  , a partir del 99,9% de SOC el valor val 0 i finalitza la càrrega.

## 4.5. Model estació de càrrega múltiple sense balanceig

Finalment l'últim model correspon a l'estació de càrrega multiple sense balanceig de potència. Aquesta estació és equivalent a l'anterior pel que fa a multiplicitat i dimensionament, consta de 3 vehicles i una potència de 6,9 kW. La diferència apareix en la gestió de la càrrega per limitacions tecnològiques ja que al desaparèixer els convertidors individuals no existeix la possibilitat de carregar diferents vehicles de forma simultània.

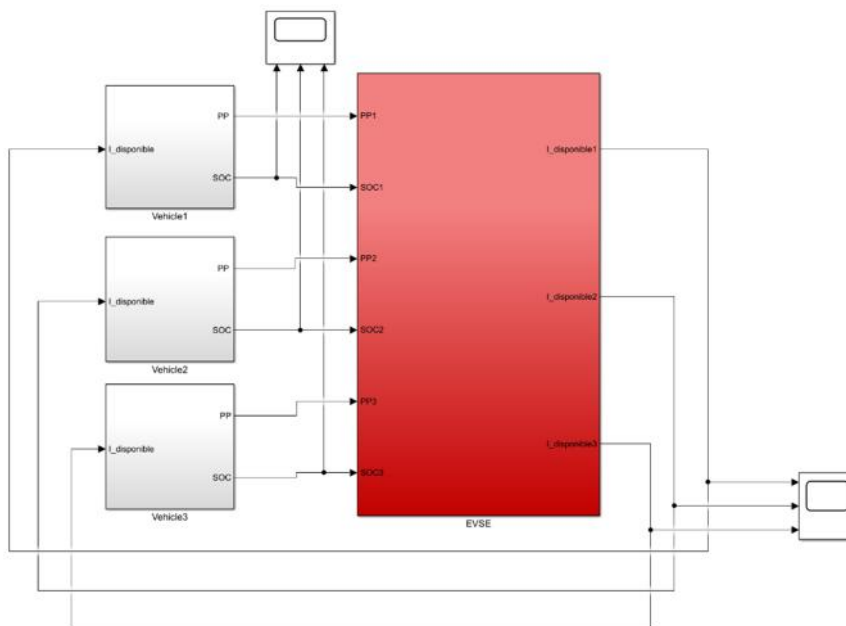


Figura 4. 5. Model de l'estació en continu balancejada amb multiplicitat 3.

Tal com s'explica en el capítol anterior l'estratègia que es planteja per aquest tipus de carregador és separar el procés de càrrega en dos etapes: una primera fins al 80% i una segona fins a finalitzar la càrrega prioritzant la primera etapa per a tots els vehicles abans de procedir a la segona. Per tant en aquest cas l'algorisme ha de decidir quin dels vehicles carrega en cada moment.

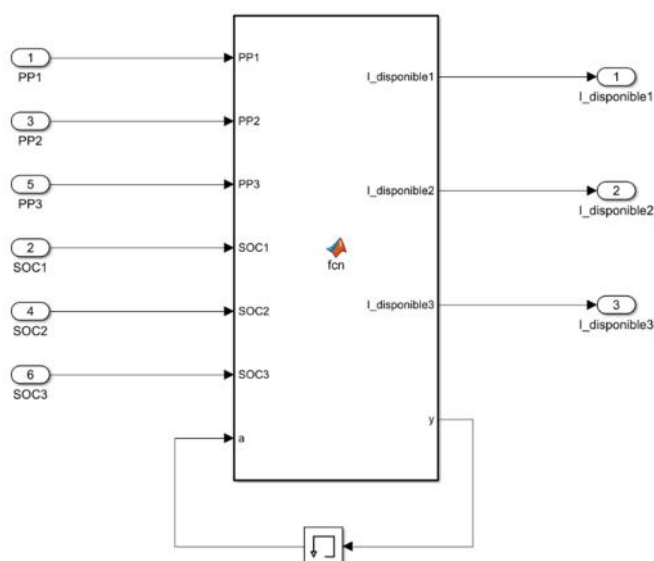


Figura 4. 6. Detall de l'interior del bloc de l'estació en continu sense balancejar.

La implementació s'ha fet igualment mitjançant una funció de Matlab, però en aquest cas apareix una variable més que es realimenta a la pròpia funció després de passar per un bloc de memòria. Aquesta variable es va haver d'afegir per tal de fixar el vehicle elegit fins que aquest arriba al 80% per garantir un correcte funcionament. Això és degut a que inicialment l'algorisme compara el SOC dels vehicles que estan connectats i elegeix el que té un SOC menor, però quan els dos vehicles arriben al mateix SOC no té cap criteri per saber quin ha de continuar carregant. Per aquest motiu s'ha afegit la variable *y* com a element de memòria que garanteix que es segueix carregant el vehicle que s'havia escollit inicialment fins que aquest arriba al 80%. Aquest algorisme s'ha adaptat a totes les combinacions possibles amb tres vehicles.

## 4.6. Resultats

A continuació es presentaran els resultats de les diferents simulacions per tal comparar les diferents estacions i extreure conclusions respecte a la viabilitat de les alternatives presentades. Primerament es simularà en l'estació en altern els tres perfils d'usuari perquè serveixi de base per a realitzar les comparacions de les dos alternatives. Finalment, es combinaran els perfils de diferents maneres en les estacions múltiples i s'estudiaran els resultats.

Els paràmetres clau en que es basaran les comparacions són el percentatge de temps que està l'estació connectada a un vehicle per estudiar-ne l'ocupació, el percentatge de temps que hi ha un vehicle connectat però no s'està carregant perquè el SOC és màxim ja que és el cas

en que s'està desaprofitant l'estació i el percentatge de temps que passen els vehicles endollats i per sota de 80% de SOC. A més a més es compararan visualment els perfils de SOC al llarg d'una setmana per estudiar el comportament de l'estació.

#### 4.6.1. Estació en altern convencional

La primera simulació realitzada amb el model de l'estació en altern s'ha fet utilitzant el perfil normal. Aquest seria el que representa millor l'usuari mitjà de vehicle elèctric a Barcelona. Tal com es pot veure en la figura 4.7 totes les sessions de càrrega arriben al 100% de SOC, per tant la càrrega nocturna és més que suficient. De fet el temps en que el vehicle està carregat i segueix endollat és molt alt, un 55,7%. Precisament un dels objectius d'aquest estudi és reduir al màxim el temps en que l'estació està ocupada però no s'està utilitzant per carregar. Una altra dada important és el temps que passa el vehicle connectat i amb un SOC inferior al 80%. En el cas de l'estació simple no és tant important ja que depèn bàsicament de l'estat de càrrega inicial, però en el cas de les estacions múltiples, on es gestiona la potència repartint la càrrega de forma diferent per a cada vehicle, aquest percentatge és indicatiu de la velocitat en que es carrega. Per evitar dubtes, en els gràfics del SOC, els trams horitzontals representen els moments en que el vehicle està desconnectat, i el valor que té el SOC en aquest moment és el valor inicial que té el vehicle al moment de connectar-se a l'estació. Es representa d'aquesta manera per veure clarament en quin percentatge comença la càrrega.

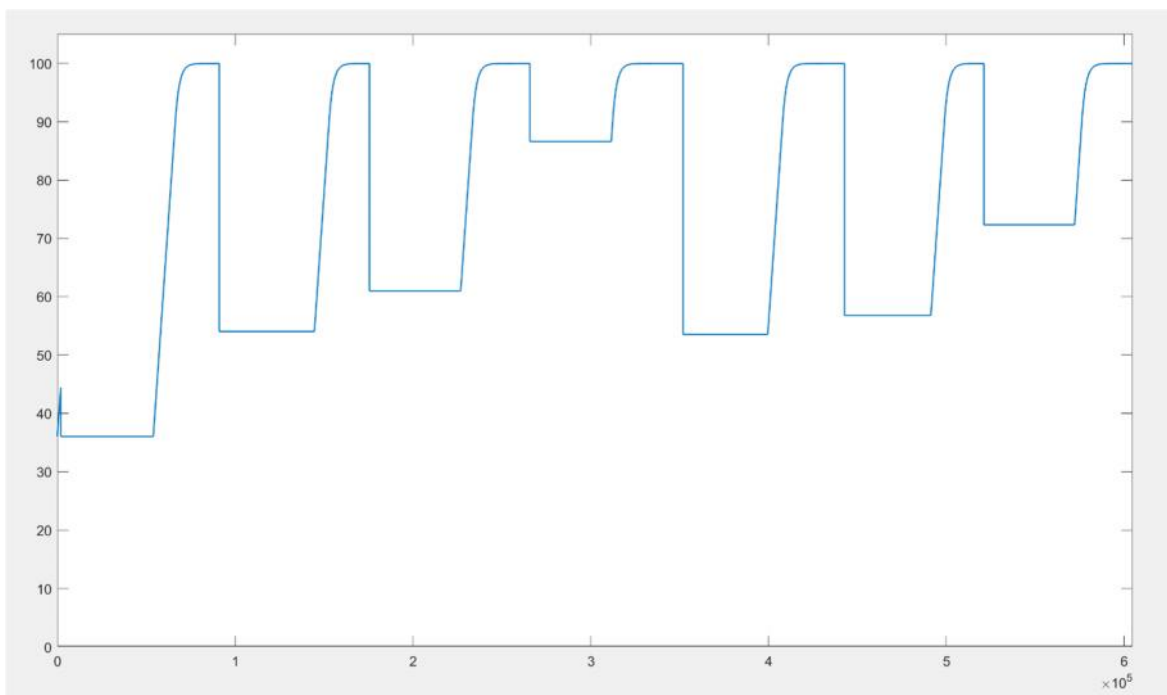
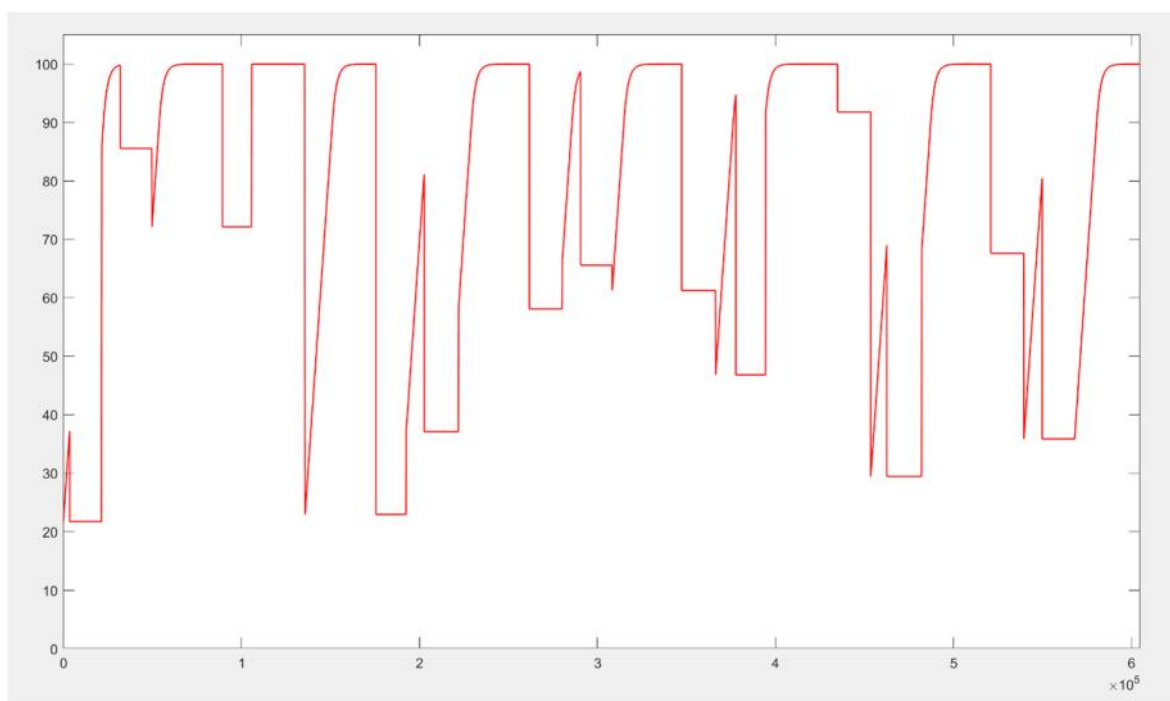


Figura 4. 7. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació en altern amb el perfil normal.

En la figura 4.8 es pot veure el desenvolupament de l'estat de càrrega per al perfil intens al llarg de la setmana. A simple vista es pot comprovar que el fet de realitzar dos desplaçaments intensifica les necessitats del vehicle, igualment els valors del SOC al iniciar la càrrega són clarament més reduïts que en l'anterior. Tot i així, la càrrega nocturna segueix sent suficient per arribar al 100% de la bateria cada dia. On no s'assoleix sempre una càrrega complerta és en les sessions del migdia. Aquest fet és obvi degut a que en alguns casos es disposa només de dues hores per a carregar. Tot i així sempre s'assoleix com a mínim el 70% de càrrega, que és un valor prou important com per a no necessitar cap altra càrrega complementària. En aquest cas el temps que passa el vehicle connectat i al 100% és d'un 49,2% del temps. Lleugerament inferior que en el cas del perfil normal, però segueix sent un percentatge molt alt en que s'està desaprofitant l'estació.



*Figura 4. 8. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació en altern amb el perfil intens.*

Per últim, es pot veure en la figura 4.9 l'estat de càrrega al llarg d'una setmana per al perfil suau. Com és d'esperar en aquest cas sempre s'arriba a la càrrega complerta, ja que els valors inicials del SOC són alts. Aquest és el perfil d'un usuari amb mobilitat estrictament urbana, de distàncies curtes o inclús que disposa de punt de càrrega al lloc de treball, i per tant al carregar fora del domicili les necessitats energètiques són molt menors. En aquest cas el percentatge que el vehicle està connectat i amb la bateria plena és del 56,80%, molt similar al normal tot i que els valors del SOC inicial són majors degut a que la part més lenta de la càrrega és a partir del 80%, el tram final, i és la que té més influència en el temps de càrrega. A més a més el temps total que està connectat en el perfil suau és menor que en el normal, llavors el valor percentual respecte al total és una mica enganyós. Per tant tot i que es

transfereixen més kWh en el perfil normal el temps que es triga és bastant similar.

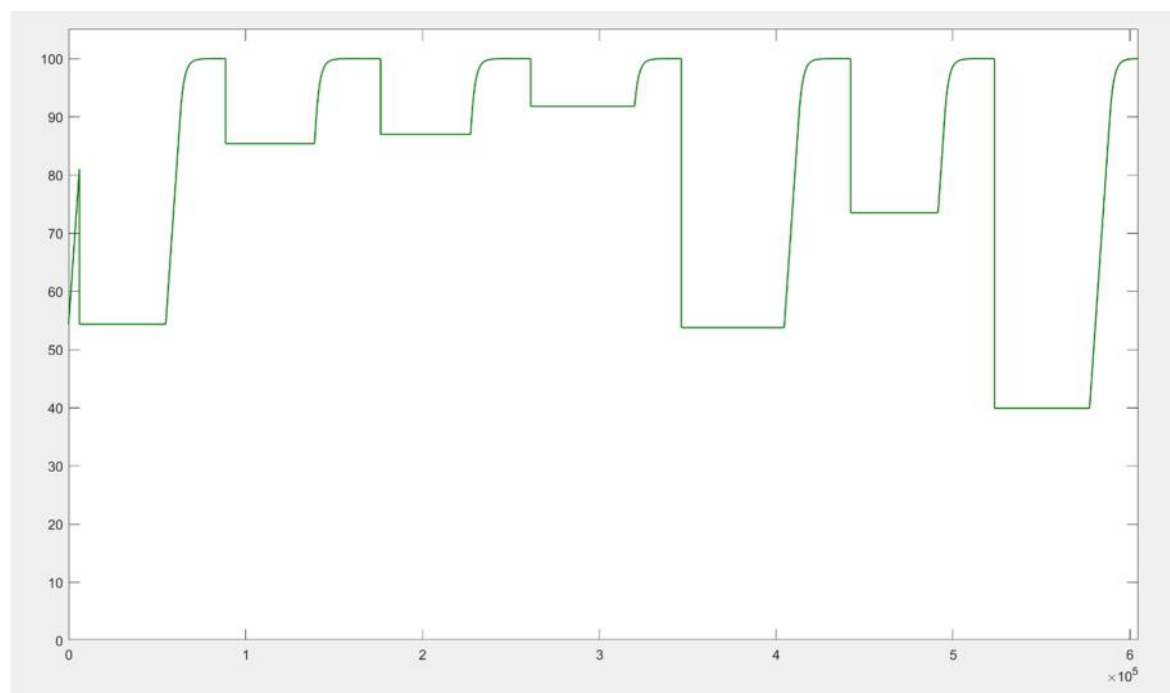


Figura 4. 9. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació en altern amb el perfil suau.

Per últim es presenta la taula 4.1 amb els valors percentuals dels paràmetres comentats anteriorment. Es pot comprovar que els valors del perfil normal i suau són bastant similars pel motiu comentat anteriorment. També es pot comprovar que el temps total connectat és superior en el perfil intens degut a la sessió de càrrega del migdia. Aquests valors seran la base per comparar els resultats de les simulacions en les alternatives.

Perfil	Normal	Intens	Suau
<b>Temps al 100% i connectat [%]</b>	55,70	49,26	59,59
<b>Temps per sota del 80% i connectat [%]</b>	13,95	24,71	12,11
<b>Temps total connectat [%]</b>	42,14	58,07	38,86

Taula 4. 1. Valors percentuals d'ocupació, temps per sobre el 80% de SOC i temps al 100% de SOC per a cada perfil de l'estació en altern..



#### 4.6.2. Estació múltiple amb balanceig

Per tal de comprovar la viabilitat de l'estació múltiple amb balanceig i de comparar-la a una estació convencional és realitzaran simulacions de diferents situacions. En la primera simulació s'utilitza el perfil normal de cada vehicle per comparar el funcionament respecte a una estació individual. Com es pot comprovar en la figura 4.10 l'algorisme utilitzat en el balanceig té com a conseqüència un equilibri en els estats de càrrega. Per exemple en el primer dia tot i connectar-se amb SOC's diferents, els tres vehicles arriben al 100% pràcticament de forma simultània. Pel que fa al funcionament, s'arriba al 100% en totes les sessions i tots els vehicles. Es demostra per tant la viabilitat de l'estació en condicions normals.

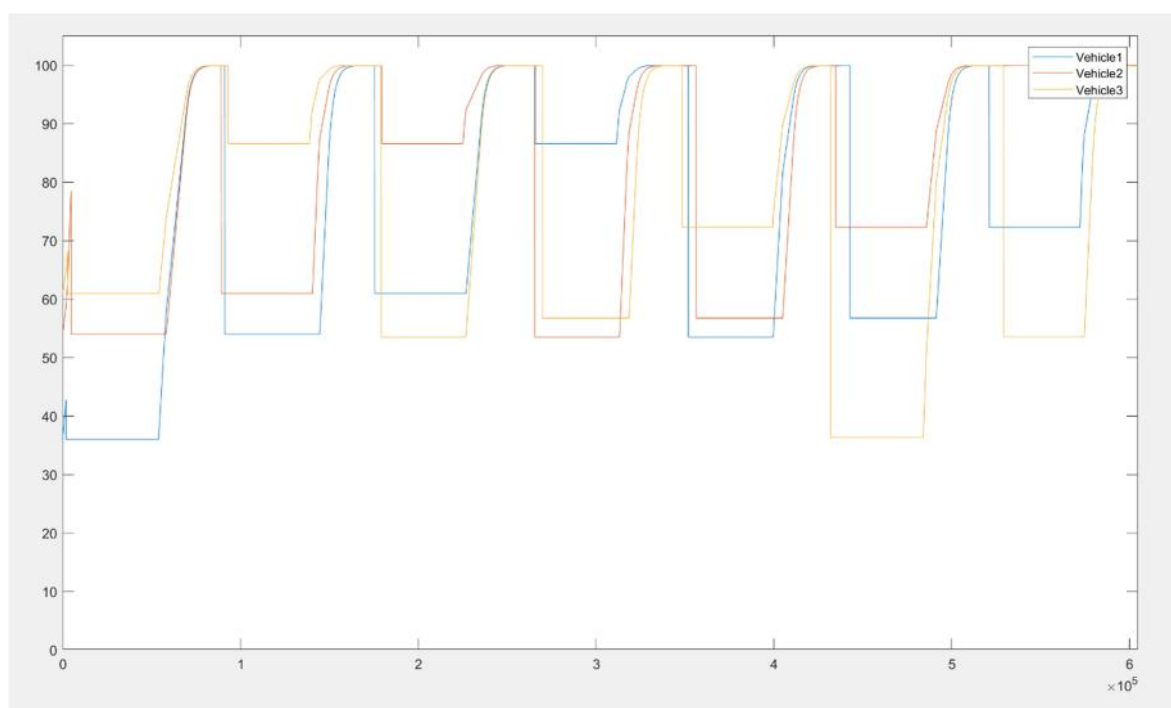


Figura 4. 10. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació amb balanceig. Vehicle 1: normal. Vehicle 2: normal. Vehicle 3: normal.

A l'hora de comparar percentatges d'ocupació cal considerar que en les estacions múltiples el percentatge de temps que els vehicles estan al 100% carregats és més estricte ja que implica que dels vehicles que hi ha connectats en cada moment tots estan al 100%. Es calcula així perquè aquest percentatge està pensat per calcular el temps en que tot i haver algun vehicle connectat no s'està aprofitant per carregar. En canvi, el percentatge que indica el temps per sota el 80% només que un vehicle estigui per sota ja comptabilitza. L'objectiu és saber el temps que passa des de que es connecta fins que arriba al 80%, que es considera un percentatge decent de bateria tot i no estar carregada al màxim.

En el cas de la primera simulació, amb els perfils normals, ha augmentat l'ocupació fins al 55,91%, s'ha reduït el temps que no s'està carregant al 25,24% i només ha augmentat el

temps que passen els vehicles per sota del 80% fins al 19,23%. Per tant es pot considerar que s'han aconseguit els dos objectius que es volien assolir augmentant només un 7% el temps que els vehicles estan per sota del 80%.

La segona simulació que s'ha realitzat és el cas més extrem possible: els tres vehicles en el seu perfil més intens. Aquesta situació, tot i que és poc probable, serveix per portar l'estació al límit i veure com actua. Com es pot veure en la figura 4.11, igual que en tots els casos anteriors la càrrega nocturna segueix sent suficient per a carregar els tres vehicles al màxim. Per tant la funció principal d'una estació domèstica la compleix sense cap problema.

La part més interessant en aquest cas és en la sessió de càrrega del migdia, ja que es connecten els tres vehicles simultàniament per un període molt curt de temps. Es pot comprovar que tots els vehicles arriben com a mínim al 60% cada dia, sent més habituals els valors el 70% i 90%. Això demostra que els resultats són molt propers als que s'assoleixen amb l'estació en altern de manera que inclús en una situació de alta demanda l'estació balancejada respon adequadament.

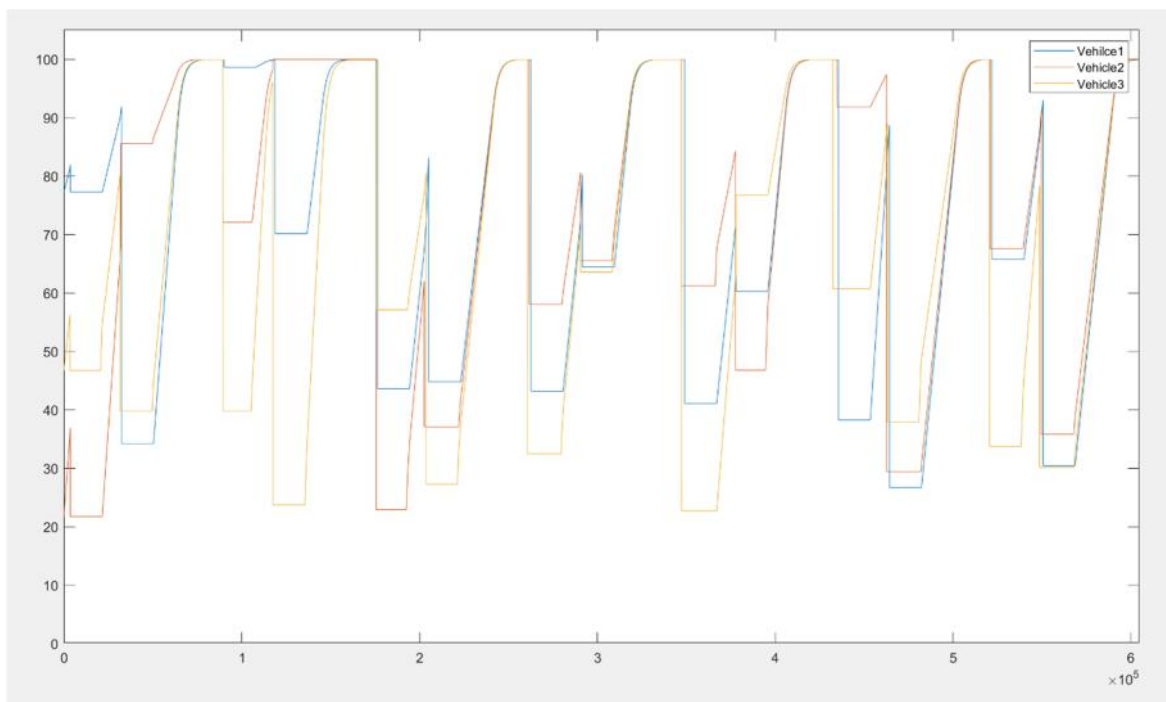


Figura 4. 11. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació amb balanceig. Vehicle 1: intens. Vehicle 2: intens. Vehicle 3: intens.

Un cop plantejada una situació habitual i una de més extrema es procedeix a combinar de diferents maneres els perfils per estudiar-ne el funcionament i el rendiment. El primer cas

combina un vehicle amb el perfil normal, un amb el perfil intens i un amb el suau. En la figura 4.12 es pot veure el resultat. El més interessant d'aquest cas és el fet que només un vehicle es connecta al migdia, això permet que disposi de tots els 6,9 kW de l'estació en comparació dels 3,7 kW en altern sense que això suposi un perjudici per als altres dos vehicles. Aquest és una de les idees principals que persegueixen les alternatives. Disposar de més potència quan és necessari, que l'estació funcioni durant més temps i que tot i així s'arribi sempre al 100% de càrrega nocturna.

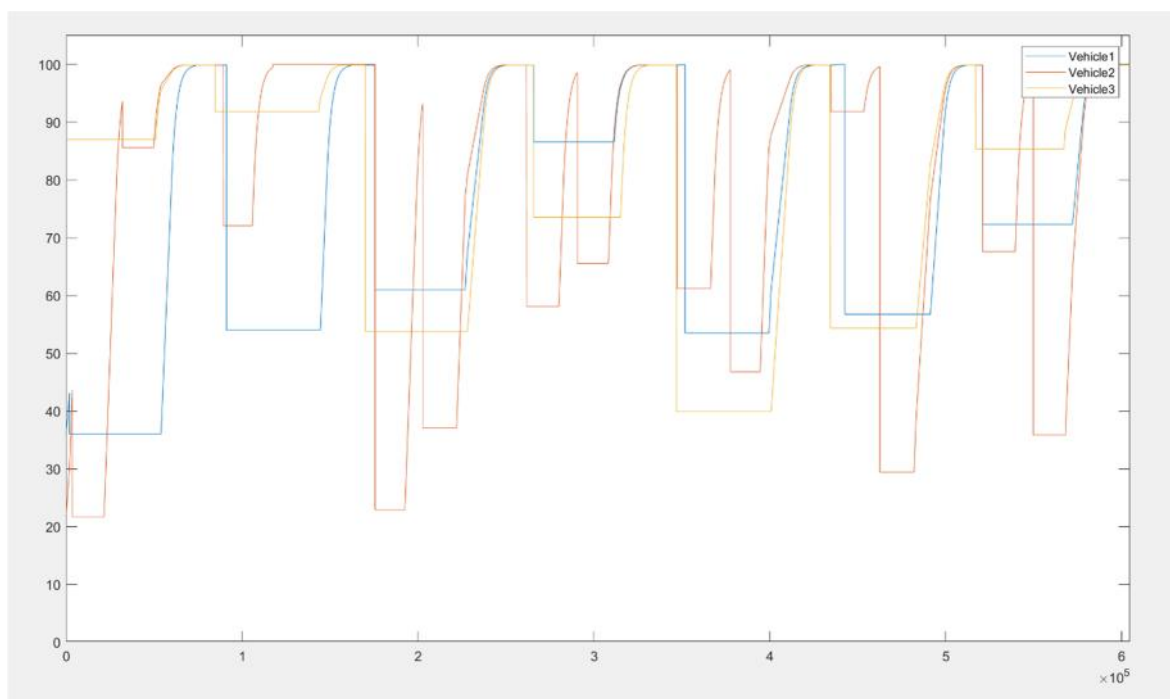


Figura 4. 12. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació amb balanceig. Vehicle 1: normal. Vehicle 2: intens. Vehicle 3: suau.

Per últim es simula un combinació lleugerament diferent, en aquest cas dos vehicles amb el perfil intens i un amb el suau. La intenció és similar a la simulació anterior però en aquest cas amb una demanda més alta. Es pot veure en la figura 4.13 que els resultats són millors que en la segona simulació (figura 4.11) ja que al introduir un vehicle amb una demanda molt baixa en el tram del migdia es reparteix la potència entre dos vehicles només. El resultat són SOC's més alts en la sessió del migdia i un assoliment del 100% més ràpids.

Finalment es presenten en la taula 4.2 els valors percentuals d'ocupació, temps per sobre el 100% i temps per sobre el 80%. La tònica general és d'augment en l'ocupació de l'estació, reducció dràstica del temps en que hi ha vehicles endollats i no s'estan carregant, i un augment del temps que passa fins que tots arriben al 80%. Aquesta última dada suposa una reducció en la velocitat de càrrega, obvia després de reduir la potència per vehicle, però s'ha comprovat que té una afectació mínima en l'usuari ja que en la càrrega nocturna s'assoleix sempre la capacitat màxima de la bateria.

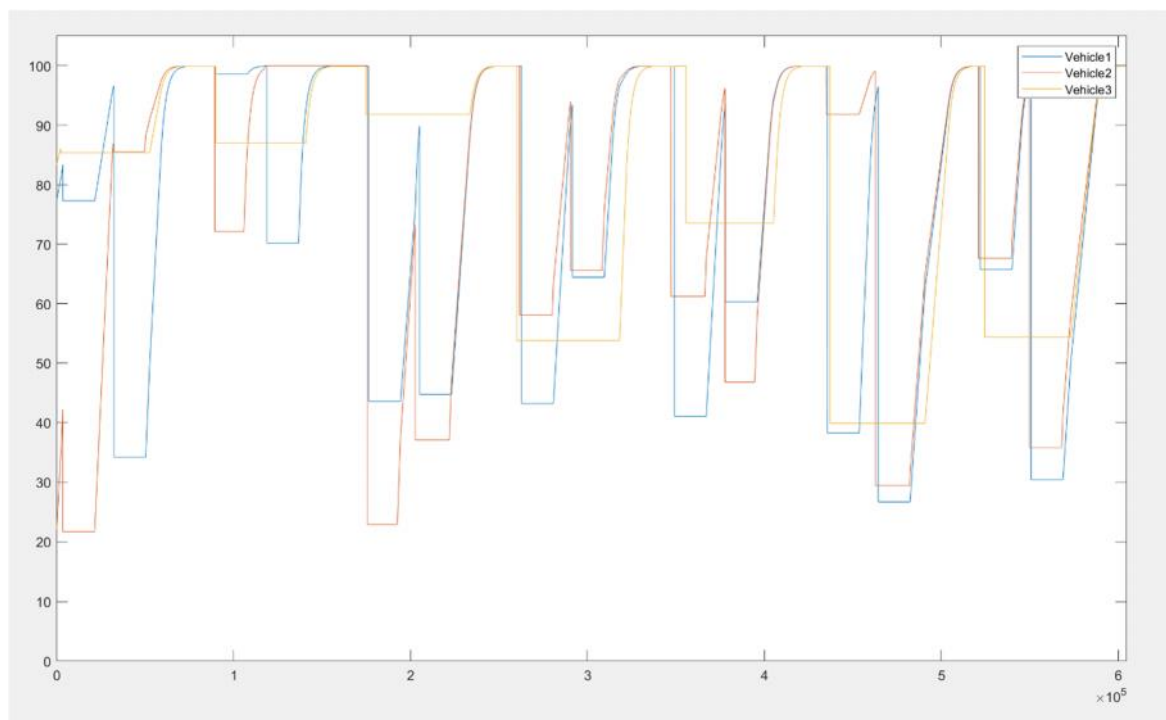


Figura 4. 13. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació amb balanceig. Vehicle 1: intens. Vehicle 2: intens. Vehicle 3: suau.

Perfils	Normal 1	Intens 1	Normal 1	Intens 1
	Normal 2	Intens 2	Intens 2	Intens 2
	Normal 3	Intens 3	Suau 3	Suau 3
<b>Temps al 100% i connectat [%]</b>	25,24	22,19	22,23	24,84
<b>Temps per sota del 80% i connectat [%]</b>	19,23	44,89	23,63	31,64
<b>Temps total connectat [%]</b>	55,91	61,26	61,21	62,12

Taula 4. 2. Valors percentuals d'ocupació, temps per sobre el 80% de SOC i temps al 100% de SOC per a diferents combinacions de perfils de l'estació balancejada.

### 4.6.3. Estació múltiple sense balanceig

Finalment es realitzaran simulacions amb el model de l'estació sense balanceig per a estudiar-ne els resultats. Els perfils utilitzats en cada simulació seran els mateixos que en l'apartat anterior per tal de comparar els resultats. En la primera simulació s'utilitzen els perfils normals de cada vehicle. En el primer dia de la figura 4.14 es pot visualitzar clarament el comportament de l'algorisme utilitzat. El primer vehicle connectat és el número 1, seguidament es connecten els altres dos. Comença carregant el primer fins al 80%, després el segon que és el que té un SOC més baix i per últim el tercer amb el SOC inicial major. Es veu com en un període curt de temps arriben tots al 80%. Llavors comença la segona fase, on seguint l'ordre inicial carrega tots els vehicles fins al 100%, aquesta fase és més lenta ja que en el tram final de càrrega la potència decreix.

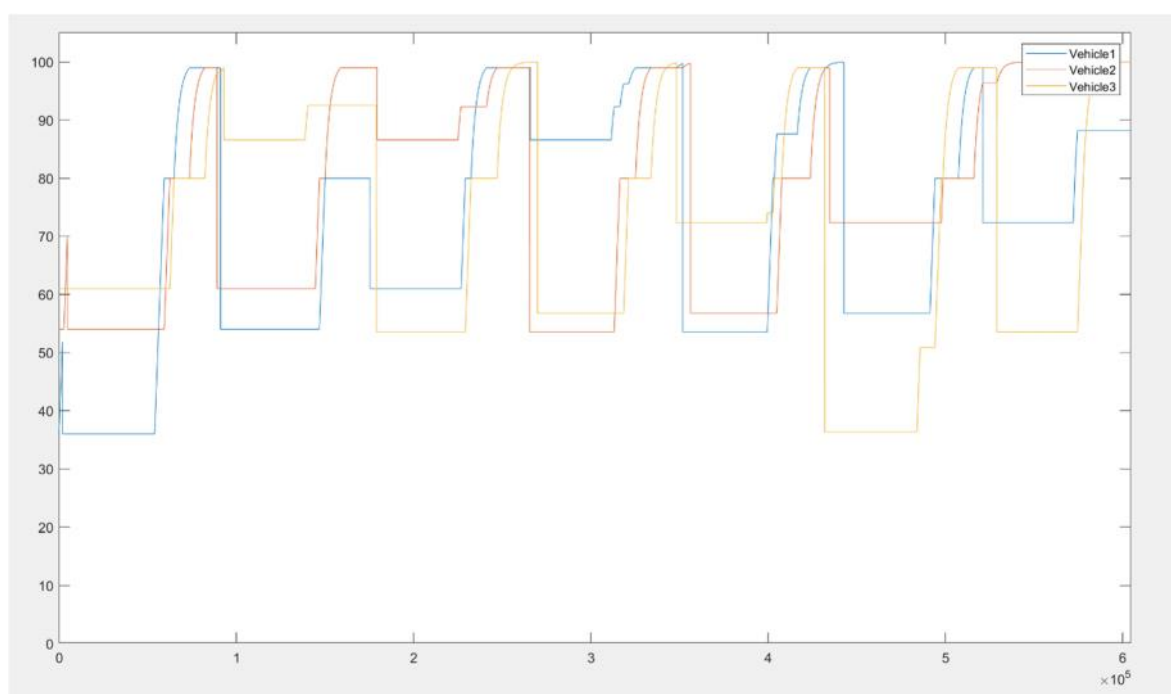


Figura 4. 14. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació sense balanceig. Vehicle 1: normal. Vehicle 2: normal. Vehicle 3: normal.

Pel que fa als valors del SOC al llarg de la setmana, es pot veure en la figura 4.14 que en aquesta estació també s'assoleix el 100% de la càrrega en nocturna. Cal destacar que el hi ha un error en el segon dia, ja que dos vehicles no passen a la segona etapa per finalitzar la càrrega, però és un problema de software i estan connectats el temps suficient com per arribar a la capacitat màxima.

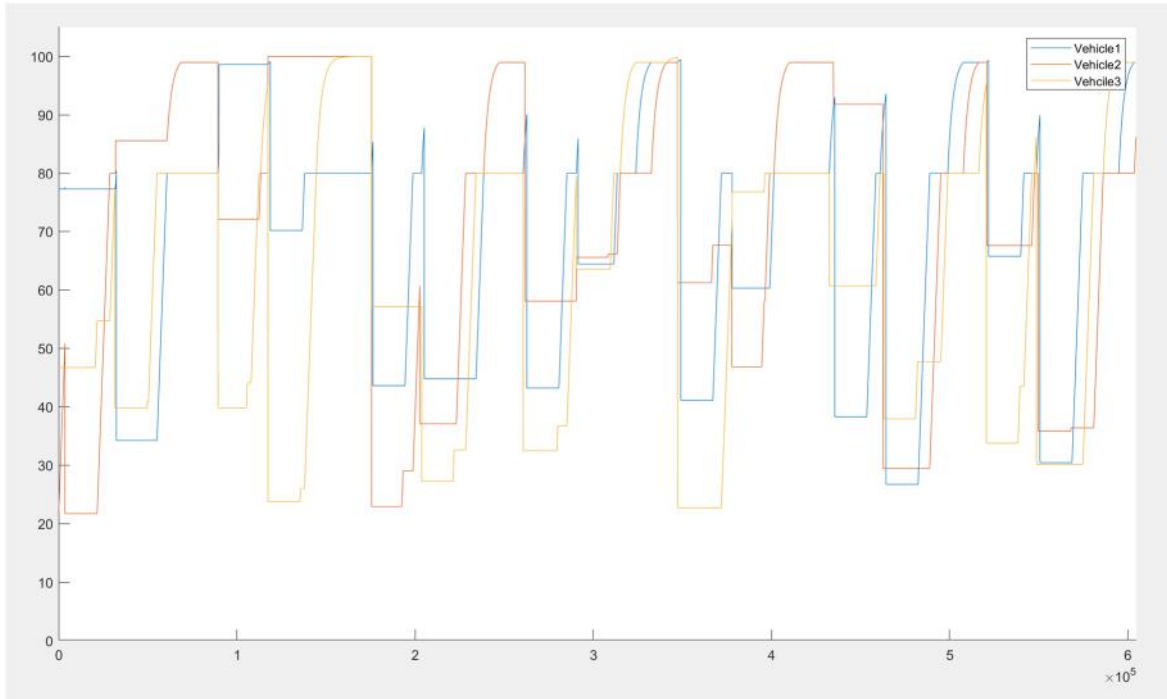


Figura 4. 15. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació sense balanceig. Vehicle 1: intens. Vehicle 2: intens. Vehicle 3: intens.

En la segona simulació, com es pot veure en la figura 4.15, s'utilitzen els perfils més intensos. Tot i ser més caòtic es pot comprovar que igual que en l'estació amb balanceig s'assoleix la màxima capacitat en la sessió nocturna i s'arriba a valors entre el 60% i el 90% al migdia. Que la càrrega sigui seqüencial fa que hi hagi més dispersió en els valors de SOC final del migdia a diferència de l'estació balancejada que tendeix a igualar el SOC dels vehicles connectats. Malgrat aquest fet, els valors són més que satisfactoris i confirmen la viabilitat de l'estació.

La tercera simulació és la combinació d'un perfil normal, un intens i un suau. Tal i com es pot veure en la figura 4.16, en aquest cas el comportament és molt similar que en l'estació balancejada. En la sessió nocturna s'assoleix el 100% pràcticament en tots els dies, excepte en el perfil suau que degut a un SOC inicial molt elevat no carrega. La resta de dies tenen el comportament desitjat i el vehicle 2 assoleix el 100% de càrrega inclús en la sessió del migdia.

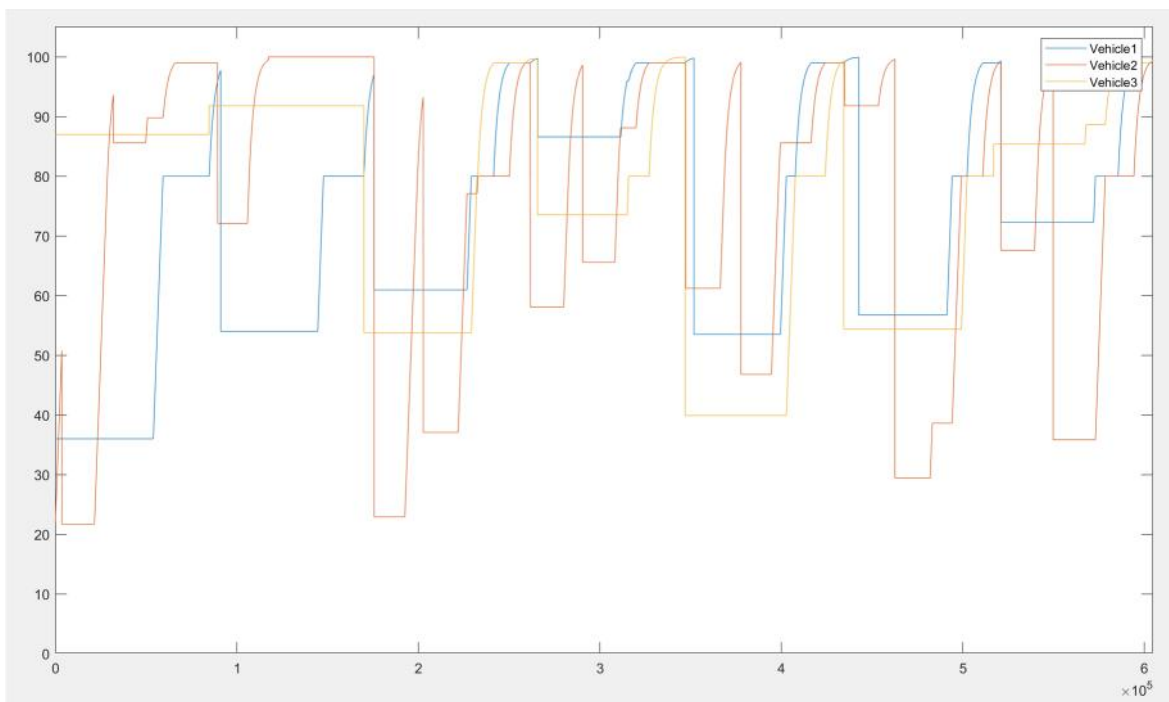


Figura 4. 16. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació sense balanceig. Vehicle 1: normal. Vehicle 2: intens. Vehicle 3: suau.

Per últim, en la figura 4.17 es pot veure la simulació de dos perfils intensos combinats amb un de suau. De la mateixa manera que en l'altra estació s'assoleix el 100% en el tram nocturn i en aquest cas al migdia un del vehicles acaba sempre per sobre del 90% i l'altre al 80%.

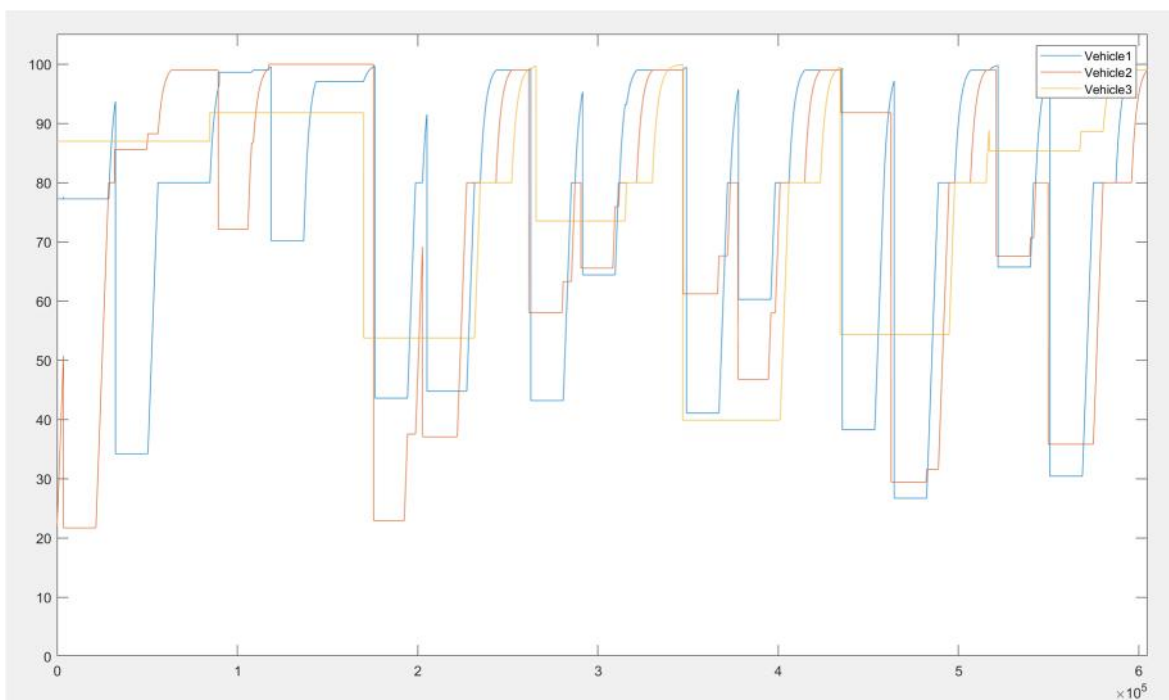


Figura 4. 17. SOC [%] al llarg de la setmana per l'estació sense balanceig. Vehicle 1: intens. Vehicle 2: intens. Vehicle 3: suau.

Si comparem els paràmetres (taula 4.3) de les diferents simulacions amb l'estació balancejada es pot comprovar que els valors d'ocupació i de temps per sobre el 80% són idèntics als de l'altra estratègia de gestió. Això significa que igual que en l'altra estació s'assoleix una millora en l'ocupació malgrat un augment del temps per sota del 80%. En aquesta estació encara s'han reduït més els percentatges de temps en que els vehicles estan endollats sense carregar. Aquests valors poden estar lleugerament influenciats per algun error en l'algorisme, però en general demostren un millor aprofitament de la potència disponible en l'estació

Perfils	Normal 1	Intens 1	Normal 1	Intens 1
	Normal 2	Intens 2	Intens 2	Intens 2
	Normal 3	Intens 3	Suau 3	Suau 3
<b>Temps al 100% i connectat [%]</b>	12,69	4,03	11,93	17,57
<b>Temps per sota del 80% i connectat [%]</b>	18,67	43,67	24,40	29,45
<b>Temps total connectat [%]</b>	55,97	61,26	61,21	60,96

*Taula 4. 3. Valors percentuals d'ocupació, temps per sobre el 80% de SOC i temps al 100% de SOC per a diferents combinacions de perfils de l'estació múltiple sense balanceig.*

Tenint en compte que s'ha reduït la potència un 37,5% respecte als 3,7 kW convencionals aquests resultats són satisfactoris en l'assoliment de l'objectiu desitjat i obren la porta a estudiar més estratègies de gestió per millorar el rendiment. Un factor que en aquest estudi s'ha fixat i pot donar peu a millores és el valor de la multiplicitat. Augmentar el nombre de vehicles i la potència de l'estació pot augmentar la flexibilitat i permetre carregar a potències més elevades amb repartiment de potència per vehicle igual. A més, el fet que les estacions siguin en continu significa que no hi ha limitacions de la potència màxima de càrrega ja que no s'utilitza el rectificador del vehicle. Així mateix un altre factor que pot incrementar l'eficiència és la utilització de més paràmetres a l'hora de definir l'estratègia com la tarifació horària, el temps que el vehicle estarà estacionat o la demanda mitjana de cada vehicle.



## 5. Impacte mediambiental

Al llarg del projecte, tant en la definició del problema com en la proposta de solucions es té en compte els possibles efectes que pot tenir una implementació sobredimensionada del vehicle elèctric. En aquest apartat es pretén aprofundir en l'impacte mediambiental relacionat amb aquest projecte. L'impacte del desenvolupament d'aquestes alternatives es pot dividir en impacte directe i indirecte.

Per una banda, l'impacte que suposa una infraestructura de càrrega en una zona urbana està relacionat amb el dimensionament de la xarxa de distribució. La xarxa actual no està dissenyada per suportar l'augment en la demanda que pot suposar un parc mòbil completament elèctric. En aquest sentit les alternatives proposades plantegen una infraestructura amb una necessitat de potència menor per tal de no sobredimensionar innecessàriament les estacions de càrrega domèstiques. Tot i pal·liar aquesta problemàtica és evident que segueix sent un repte immens per les grans ciutats, i les solucions plantejades marcaran indubtablement el futur del parc mòbil en la ciutat de Barcelona.

Per altra banda, la transició a una mobilitat més sostenible passa per facilitar als usuaris de vehicles de combustió alternatives sostenibles. En forma de transport públic o bé facilitant la implementació de l'ús de vehicles elèctrics. Aquest fet té un impacte en el nivell de contaminació. L'emissió de gasos d'efecte hivernacle o el soroll són dos problemes molt greus que es solucionen transformant el parc mòbil de Barcelona en elèctric. Per tant totes les accions que ajuden i faciliten aquesta transformació tenen un impacte en la qualitat de vida d'una ciutat.

Per últim cal remarcar que no tots els efectes són positius. Electrificar la flota de vehicles soluciona problemes però en genera de nous. La utilització d'una energia neta com l'electricitat va estretament lliga amb la generació d'aquesta. Només un 45,8% de l'energia generada el primer semestre del 2018 provenia de fonts renovables. I el desequilibri entre la oferta i la demanda en l'estat espanyol obliga a comprar energia a països amb una producció més elevada. Tot això suposa que malgrat el canvi de vehicle de combustió a elèctric és una millora clara, no soluciona el problema completament, sinó que en molts casos deslocalitza la contaminació. Per aquests motius cal seguir fent passos en la direcció correcta sense oblidar totes les parts que influeixen en la reducció de la contaminació.

## 6. Pressupost

A continuació es presenta una valoració econòmica del projecte. Tant pel que fa als recursos materials com els humans. A la taula 6.1 es mostra la valoració econòmica dels recursos informàtics utilitzats durant el projecte. En el cas del software utilitzat l'amortització es nul·la ja que s'ha utilitzat la llicència de la universitat.

Concepte	Preu [€]	Vida útil [anys]	Amortització [€]
Microsoft Surface Pro	938,77	5	78,23
Ratolí	79,99	5	6,66
Matlab 2018b	-	-	-
<b>TOTAL</b>	-	-	84,89

*Taula 6. 1. Pressupost recursos materials.*

En la taula 6.2 es mostra la valoració econòmica dels recursos humans. S'ha dividit en tres etapes: estudi i disseny, modelatge i simulació i redacció.

Concepte	Preu [€/hora]	Temps [hores]	Cost [€]
Estudi i disseny	29	120	3480
Modelatge i simulació	35	160	5600
Redacció	19	60	1140
<b>TOTAL</b>	-	340	10.220

*Taula 6. 2. Pressupost recursos humans.*

En total, afegint l'IVA, el cost total del projecte és de 12.451,06 €

## Conclusions

Aquest projecte va sorgir de la necessitat de plantejar alternatives a la infraestructura de càrrega actual. La dificultat de disposar de potència suficient per a instal·lar un punt de càrrega individual per a cada vehicle en un pàrquing de grans dimensions d'una zona urbana com Barcelona suposa un repte per la transició a la mobilitat sostenible. Després de l'estudi de la tecnologia involucrada i les possibilitats que permet s'han explicat detalladament les característiques que possibiliten una implementació efectiva i s'han presentat alternatives al model actual d'estació de càrrega per aprofitar al màxim aquestes característiques.

Seguidament s'han modelat aquestes alternatives reduint la potència disponible per vehicle, s'han plantejat estratègies de gestió de la càrrega i se'n ha simulat el comportament per diferents perfils d'usuaris de vehicle elèctric de l'àrea metropolitana de Barcelona. Els resultats d'aquestes simulacions confirmen la viabilitat de les alternatives i obren la porta a plantejar millores en les estratègies de gestió per maximitzar l'aprofitament energètic.

Es pot afirmar que s'han assolit els objectius del treball. Una estació comunitària, amb una disminució de la potència necessària del 37,5%, amb capacitat d'implementació de tecnologies V2G i energies renovables i que satisfà les necessitats dels usuaris. Tot i assolir uns resultats satisfactoris aquest treball deixa moltes portes obertes per continuar investigant tots els aspectes relacionats amb la càrrega de vehicles elèctrics i suposa un primer pas en la concepció d'una infraestructura capaç d'assumir la gran demanda elèctrica que provocarà el vehicle elèctric en un futur proper.

## Bibliografia

- [1] Alduan, A., & Vega, P. (2014). *Las cuentas ecológicas del transporte en España* (2ª ed.). Recuperat de [https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/info\\_cuentas-ecologicas.pdf](https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/info_cuentas-ecologicas.pdf)
- [2] Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso del Vehículo Eléctrico (AEDIVE). (2018). *Informe de matriculaciones Noviembre 2018*. Recuperado de <http://aedive.es/>
- [3] Automotive Energy Supply Corporation. (s.f.). Cell, Module, and Pack for EV Applications | Automotive Energy Supply Corporation. Recuperat 10 desembre, 2018, de [http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion\\_ev/](http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion_ev/)
- [4] Autoritat del Transport Metropolità (ATM), Ajuntament de Barcelona, Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), & Associació de Municipis per la Mobilitat i el Transport Urbà (AMTU). (2017). *Enquestes de Mobilitat en dia Feiner (EMEF)*. Recuperat de [https://observatori.atm.cat/enquestes-de-mobilitat/Enquestes\\_ambit\\_ATM/EMEF/2017/EMEF\\_2017\\_Informe\\_AMB.pdf](https://observatori.atm.cat/enquestes-de-mobilitat/Enquestes_ambit_ATM/EMEF/2017/EMEF_2017_Informe_AMB.pdf)
- [5] Berg, H. (2015). *Batteries for Electric Vehicles* (2ª ed.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- [6] Buchmann, I. (s.f.). Types of Lithium-ion Batteries – Battery University. Recuperat 11 desembre, 2018, de [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)
- [7] España. Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 "Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos", del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo.
- [8] Jar, B., Watson, N., & Miller, A. (2016). *Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger*. Documento presentado en EEA Conference & Exhibition 2016, Wellington, New Zeland. Recuperat de [https://www.researchgate.net/publication/319162700\\_Rapid\\_EV\\_Chargers\\_Implementation\\_of\\_a\\_Charger](https://www.researchgate.net/publication/319162700_Rapid_EV_Chargers_Implementation_of_a_Charger)
- [9] Lima, P. (2018, 27 marzo). 2018 Nissan Leaf battery real specs - Push EVs. Recuperat 12 desembre, 2018, de <https://pushevs.com/2018/01/29/2018-nissan-leaf-battery-real-specs/>

- [10] Mouli, G. R. C., Kaptein, J., Bauer, P., & Zeman, M. (2016). Implementation of dynamic charging and V2G using Chademo and CCS/Combo DC charging standard. 2016 *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, . <https://doi.org/10.1109/itec.2016.7520271>
- [11] Schäuble, J., Jochem, P., & Fitchner, W. (2016). *Cross-border Mobility for Electric Vehicles*. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000052445>
- [12] Shirk, M., & Wishart, J. (2015). Effects of Electric Vehicle Fast Charging on Battery Life and Vehicle Performance. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2015-01-1190>
- [13] Àrea de Presidència, Règim Interior, Seguretat i Mobilitat, & Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona. (2015). *Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona PMU: 2013-2018*. Recuperat de <http://hdl.handle.net/11703/85163>

## Bibliografia complementària

- Automotive Research Association Of India. (2018). *Electric Vehicle Conductive DC Charging System*. Recuperat de [https://araiindia.com/hmr/Control/AIS/320201825106PMAIS\\_138\\_Part\\_2\\_F.pdf](https://araiindia.com/hmr/Control/AIS/320201825106PMAIS_138_Part_2_F.pdf)
- Bocca, A., Chen, Y., Macii, A., Macii, E., & Poncino, M. (2018). Aging and Cost Optimal Residential Charging for Plug-In EVs. *IEEE Design & Test*, 35(6), 16–24. <https://doi.org/10.1109/mdat.2017.2753701>
- Kübel, M. (2015). *Design Guide for Combined Charging System*. Recuperat de [http://tesla.o.auroraobjects.eu/Design\\_Guide\\_Combined\\_Charging\\_System\\_V3\\_1\\_1.pdf](http://tesla.o.auroraobjects.eu/Design_Guide_Combined_Charging_System_V3_1_1.pdf)
- Letendre, S., Gowri, K., Kintner-Meyer, M. C., & Pratt, R. M. (2013). Intelligent Vehicle Charging Benefits Assessment Using EV Project Data. *Pacific Northwest National Laboratory*, . <https://doi.org/10.2172/1118115>
- Moon, S., & Kim, J. (2017). Balanced charging strategies for electric vehicles on power systems. *Applied Energy*, 189, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.025>
- Rivera, S., & Wu, B. (2017). Electric Vehicle Charging Station With an Energy Storage Stage for Split-DC Bus Voltage Balancing. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(3), 2376–2386. <https://doi.org/10.1109/tpel.2016.2568039>